

Título del P.F.C.:

Análisis espacial y temporal del uso del suelo en Coixtlahuaca, Oaxaca, México

Autor: Elena Herrero Rodríguez

Director: Sonia Condés Ruiz

Co-Director: Fidencio Sustaita Rivera

Departamento: Economía y Gestión Forestal

RESUMEN

El distrito de Coixtlahuaca se encuentra en el estado de Oaxaca, al sureste de México. Este distrito de 168.860 hectáreas destaca tristemente por ser una de las regiones más pobres y degradadas de todo México. Las roturaciones, el sobrepastoreo y la extracción de leña son algunos de los factores que han detonado la grave situación actual.

En el presente proyecto se utilizan imágenes de satélite Landsat de los años 1989, 1999 y 2006 para la evaluación temporal de los usos del suelo de Coixtlahuaca. Mediante trabajo de campo y la valiosa herramienta de la teledetección se generan mapas de usos de suelo y vegetación para cada uno de estos años. Tras su evaluación se concluye cómo cambian en el distrito los usos del suelo y los factores que los han inducido.

Se proporciona un mapa preciso y actualizado de usos de suelo y vegetación para las autoridades del distrito; éste constituye una necesaria herramienta de gestión en sus planes municipales. El análisis espacial se realizará en base a este mapa con objeto de localizar aquellas zonas más castigadas por la sobreexplotación de recursos y las formaciones vegetales que aún permanecen en buenas condiciones de conservación.

Como tema muy relacionado con la dinámica del paisaje, se estudia en este proyecto la erosión potencial de Coixtlahuaca.

Los resultados indican que en los 17 años de estudio hay un ligero descenso de la superficie desprovista totalmente de vegetación. Sin embargo, a pesar de este descenso, la superficie actual de este uso continúa siendo muy elevada, de 21.700 hectáreas.

ABSTRACT

Coixtlahuaca district is located in the state of Oaxaca, southeastern Mexico. This district of 168.860 hectares sadly stands as one of the poorest and most degraded regions throughout Mexico. The reclamation, overgrazing and fuelwood extraction are some of the factors that have triggered the current serious situation.

This project uses Landsat satellite images from 1989, 1999 and 2006 for the temporal evaluation of land use of Coixtlahuaca. Through field work and the valuable tool of remote sensing, maps of land uses and vegetation are generated for each of these years. After its evaluation it is concluded how do the land uses change in the district and what factors have induced them.

It provides an accurate and current map of land use and vegetation to the district authorities; it is a necessary management tool in municipal plans. Spatial analysis will be based on this map in order to identify those areas most affected by overexploitation of resources and the vegetation which is still in good preservation.

As a topic closely related to landscape dynamics, Coixtlahuaca's potential erosion is studied in this project.

The results indicate that in the 17 years of study there is a slight decrease in the surface completely devoid of vegetation. However, despite this decline, the current area of this use remains very high, of 21.700 hectares.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	5
1.2. ANTECEDENTES.....	10
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	13
 II. OBJETIVOS.....	 14
 III. MATERIAL Y MÉTODOS.....	 15
1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	15
1.1. LOCALIZACIÓN Y SITUACIÓN ADMINISTRATIVA	15
1.2. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL MEDIO.....	21
1.3. SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA.....	31
1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DE SUELO Y TIPOS DE VEGETACIÓN.....	41
2. DESCRIPCIÓN DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE UTILIZADAS.....	55
3. CREACIÓN DE LOS MAPAS DE VEGETACIÓN Y USOS.....	61
3.1. COMPOSICIONES EN FALSO COLOR.....	62
3.2. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS DEL AÑO 2006	66
3.3. MAPAS DE VEGETACIÓN DE LOS AÑOS 1989 Y 1999	73
4. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS PARA LAS AUTORIDADES DE COIXTLAHUACA.....	75
5. ANÁLISIS ESPACIAL.....	76
6. ANÁLISIS TEMPORAL.....	77
7. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL PRONÓSTICO DE PÉRDIDAS DE SUELO	80
7.1. FACTORES DE LA ECUACIÓN RUSLE	81
7.2. MAPAS DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO	91
 IV. RESULTADOS	 97
1. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS AÑO 2006.....	97
1.1. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.....	97
1.2. DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DEFINITIVAS	98
1.3. VERIFICACIÓN.....	104
2. MAPAS DE VEGETACIÓN Y USOS AÑOS 1989 Y 1999	106
3. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS PARA LAS AUTORIDADES.....	107
4. ANÁLISIS ESPACIAL.....	109

5.	ANÁLISIS TEMPORAL.....	118
5.1.	EVOLUCIÓN DE LOS USOS EN COIXTLAHUACA	118
5.2.	EVOLUCIÓN USO FORESTAL	120
5.3.	EVOLUCIÓN DEL SUELO DESNUDO.....	133
6.	ESTUDIO DE LA EROSIÓN	136
V.	DISCUSIÓN	140
1.	DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS TEMPORAL.....	150
2.	ORIENTACIÓN DE FUTUROS PROYECTOS Y RECOMENDACIONES.....	150
VI.	CONCLUSIONES	152
	REFERENCIAS	154
	ANEXOS.....	158
I.	Programa de prevención y control de la desertificación y abastecimiento de agua a comunidades de la Región Mixteca	158
II.	Programa contra la desertificación de Planet Action	162
III.	Climas de Köppen.....	166
IV.	Rutas por Coixtlahuaca.....	167
V.	Imágenes de satélite utilizadas	168
VI.	Comandos usados con el programa Idrisi Andes.....	177
VII.	Muestreo sobre imagen Google Earth	179
VIII.	Mapa autoridades de Coixtlahuaca	182

LISTA DE FIGURAS

Fig. I.1 Localización de la Región Mixteca en México	5
Fig. I.2 Convento dominico del siglo XVI en San Juan Bautista Coixtlahuaca	7
Fig. I.3 Cartel en Tlacotepec Plumas para la sensibilización ambiental (Fuente: Carlos Jiménez Barrios).....	9
Fig. III.1 Localización de Coixtlahuaca en el estado de Oaxaca y en México	15
Fig. III.2 Mapa de la red de comunicaciones de Coixtlahuaca. (UNAM, 2002)	16
Fig. III.3 Camino de terracería en Coixtlahuaca.	17
Fig. III.4 Municipios que constituyen el distrito de Coixtlahuaca. (UNAM, 2002)	18
Fig. III.5 Mapa hidrológico del distrito de Coixtlahuaca (UNAM, 2002)	21
Fig. III.6 Mapa de suelos del distrito de Coixtlahuaca (Serra, 2010)	23
Fig. III.7 Mapa de altitudes y pendientes de Coixtlahuaca (UNAM, 2002)	25
Fig. III.8 Mapa de climas de Köppen de Coixtlahuaca. (UNAM, 2002)	27
Fig. III.9 Tipos de construcciones en Coixtlahuaca	31
Fig. III.10 Población del distrito de Coixtlahuaca desglosada por municipios para los años 1990, 1995, 2000 y 2005. (INEGI, 2005).....	33
Fig. III.11 Vestigios de terrazas prehispánicas en la Mixteca (Altieri et al., 2006)	35
Fig. III.12 Habitante de Santa Catarina Ocotlán trillando con una pareja de burros.	36
Fig. III.13 Habitantes de Concepción Buenavista con su rebaño de ovejas (Fuente: María del Riego Ceña).....	37
Fig. III.14 Extracción de leña (Fuente: Carlos Jiménez).....	39
Fig. III.15 Mural de las autoridades en la comunidad de Las Palmas, Concepción Buenavista, concienciando ambientalmente a la población (Fuente: Carlos Jiménez).	40
Fig. III.16 Similitudes de la clasificación usada y la de Rzedowski (1978).....	41
Fig. III.17 Detalle de los ramillos de Socoya (Pistacia mexicana)	42
Fig. III.18 Panorámica del tipo de vegetación Chaparral	42
Fig. III.19 a) Panorámica del Bosque de enebros. b) Detalle de los ramillos y frutos del enebro (Juniperus flaccida).....	43
Fig. III.20 Selva baja al final de la época húmeda (Téllez et al., 2008)	44
Fig. III.21 a) Panorámica de Selva baja caducifolia en época seca: todos los árboles presentan igual altura, al fondo se observa que sobresalen dos ejemplares. b) Ejemplar de copal con corteza exfoliable y color brillante. Matorral xerófilo de gran altura acompañante....	44

Fig. III.22 a) Espino blanco (<i>Acacia pennatula</i>) ramificado desde la base y de ancha copa. b) Detalles de hojas pinnadas y flores del Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>).....	45
Fig. III.23 Panorámica de Matorral espinoso en la época seca, con el comienzo de la floración en San Miguel Tequixtepec.	46
Fig. III.24 Matorral xerófilo con mayoría de cucharillas (<i>Dasyllirion</i> sp.) en San Miguel Tequixtepec.....	47
Fig. III.25 Palmar (<i>Brahea nitida</i>), al fondo Bosque de <i>Quercus</i> spp. mezclado con el palmar en Tepelmeme Villa de Morelos	48
Fig. III.26 Pinar en San Miguel Chicahua, en las inmediaciones del sur de Coixtlahuaca.....	49
Fig. III.27 Panorámica del sotobosque del Bosque de <i>Quercus</i> spp. en San Juan Bautista Coixtlahuaca	50
Fig. III.28 Terrenos agrícolas en Santa Catarina Ocotlán.....	51
Fig. III.29 Suelo dedicado al pastoreo del ganado en San Juan Bautista Coixtlahuaca	51
Fig. III.30 Afloramiento del 'caliche', en primer término un ejemplar de Uña de gato (<i>Mimosa pueblensis</i>). San Miguel Tulancingo.....	52
Fig. III.31 Muestra de la erosión en cárcavas en San Cristóbal Suchixtlahuaca.....	53
Fig. III.32 Presa en San Antonio Abad (Fuente: Carlos Jiménez)	53
Fig. III.33 Reforestación con pino en Santiago Ihutlán Plumas	54
Fig. III.34 Significado de un pixel (Chuvieco, 2002).....	55
Fig. III.35 Organización de la información en una imagen digital. (Otero, 2005)	55
Fig. III.36 Espectro electromagnético.....	56
Fig. III.37 Esquema de la función de las imágenes de satélite en el proyecto	57
Fig. III.38 a) Información sobrante respecto al distrito de Coixtlahuaca. b) Imagen recortada. .	59
Fig. III.39 Imagen de satélite fila-columna 25-47 cubre 5%de Coixtlahuaca.....	60
Fig. III.40 Imagen Google Earth 2004 de Coixtlahuaca	61
Fig. III.41 Esquema de la clasificación supervisada (Bautista, 2004).....	62
Fig. III.42 Esquema de clasificación no supervisada (Bautista, 2004)	63
Fig. III.43 Esquema de la obtención de la composición en falso color	64
Fig. III.44 Composición RGB 432 de 2006 de Coixtlahuaca y asociación de colores con distintos tipos de cubiertas.....	64
Fig. III.45 Esquema metodológico para obtener el mapa de vegetación y usos del 2006, y el porcentaje de acierto del mismo	66
Fig. III.46 Ejemplo de la localización de marcas de posición en imagen satélite Google Earth.	71
Fig. III.47 Esquema de la matriz de error-acierto.....	72

Fig. III.48 Caso hipotético en que el área de control del 2006 no sea válida para otro año anterior	74
Fig. III.49 a) Ejemplo de distinta resolución, b) Ejemplo de pixeles no correctamente enfrentados	77
Fig. III.50 Localización del pluviógrafo respecto al distrito de Coixtlahuaca.....	83
Fig. III.51 Ecuaciones en México para calcular R (Cortes, 1991).....	84
Fig. III.52 Zanja Bordo en el municipio de San Miguel Tulancingo. (Fuente: Carlos Jiménez Barrios).....	90
Fig. III.53 Terrazas en Santiago Ihuatlán Plumas de aproximadamente cinco metros de ancho (Fuente: Carlos Jiménez).....	91
Fig. IV.1 Clasificación supervisada de la imagen de satélite del año 2006	94
Fig. IV.2 Distribución hipotética de los pinares en la imagen clasificada del 2006	98
Fig. IV.3 Distribución de la Selva baja caducifolia en la imagen clasificada del 2006. La parte sur dentro del polígono es sustituida por matorral espinoso.	99
Fig. IV.4 Mapa de vegetación y usos de Coixtlahuaca 2006.....	102
Fig. IV.5 Mapa de vegetación y usos de Coixtlahuaca 1989.....	104
Fig. IV.6 Mapa de vegetación y usos de Coixtlahuaca 1999.....	104
Fig. IV.7 Mapa de vegetación y usos para las autoridades de Coixtlahuaca	105
Fig. IV.8 Porcentaje de las categorías de usos de suelo y tipos de vegetación en Coixtlahuaca 2006	106
Fig. IV.9 Municipios de Coixtlahuaca	107
Fig. IV.10 Roturaciones en los Bosques de Quercus spp. del sureste y este de Coixtlahuaca.....	109
Fig. IV.11 Poblaciones en el distrito de Coixtlahuaca (Fuente: Dirección de cartografía y presentación de la dirección general de planeación de Oaxaca).....	112
Fig. IV.12 Proporción en Coixtlahuaca de los usos del suelo en los años 1989, 1999 y 2006.....	116
Fig. IV.13 Evolución de la superficie de los usos de Coixtlahuaca entre 1989 y 2006	116
Fig. IV.14 Pérdidas y ganancias de superficie del uso forestal en los distintos periodos de estudio.....	118
Fig. IV.15 Transformaciones entre el uso forestal y el resto de usos de Coixtlahuaca. FOR: Superficie sin cambios; FOR→AG-PZ: conversión del uso forestal a uso agrícola – pastizal; AG-PZ→FOR: conversión del uso agrícola-pastizal a uso forestal; FOR→SD: conversiones del uso forestal a terrenos con suelo desnudo; SD→FOR: Conversiones de terrenos con suelo desnudo a uso forestal.....	119
Fig. IV.16 Municipios de Coixtlahuaca	120

Fig. IV.17 Población del distrito de Coixtlahuaca desglosada por municipios para los años 1990, 2000 y 2005. (INEGI, 2005)	120
Fig. IV.18 a) Población de Coixtlahuaca para cada municipio en una gráfica de barras. La barra azul simboliza la población en 1989, la morada en 1999 y la verde en el 2006. b) Descenso de la población de Coixtlahuaca en % para cada municipio. La barra azul representa el descenso entre 1989 y 1999. La barra verde simboliza el descenso entre 1999 y 2006.	121
Fig. IV.19 Mapa de evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales para el periodo 1989-1999 en los municipios de Coixtlahuaca	121
Fig. IV.20 Mapa de evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales para el periodo 1999-2006 en los municipios de Coixtlahuaca	123
Fig. IV.21 Gráfico de barras que muestra las ganancias de superficie de cada uno de los grupos de vegetación de Coixtlahuaca a partir del uso agrícola-pastizal. AG-PZ→BQ: Terrenos agrícolas o pastizales a Bosque de Quercus spp., AG-PZ→SBC: Terrenos agrícolas o pastizales a Selva baja caducifolia, AG-PZ→CHA: Terrenos agrícolas o pastizales a Chaparral, AG-PZ→M ESP: Terrenos agrícolas o pastizales a Matorral espinoso, AG-PZ→M XER: Terrenos agrícolas o pastizales a Matorral xerófilo.	125
Fig. IV.22 Gráfico de barras que muestra las pérdidas de superficie de cada uno de los grupos de vegetación de Coixtlahuaca a partir del uso agrícola-pastizal. BQ→AG-PZ: Bosque de Quercus spp. a terrenos agrícolas o pastizales, SBC→ AG-PZ: Selva baja caducifolia a terrenos agrícolas o pastizales, CHA →AG-PZ: Chaparral a terrenos agrícolas o pastizales, M ESP →AG-PZ: Matorral espinoso a terrenos agrícolas o pastizales, M XER →AG-PZ: Matorral xerófilo a terrenos agrícolas o pastizales.	126
Fig. IV.23 Ganancia de superficie forestal a partir de suelo desnudo. SD→BQ: Suelo desnudo a Bosque de Quercus spp., SD→SBC: Suelo desnudo a Selva baja caducifolia, SD→CHA: Suelo desnudo a Chaparral, SD→M ESP: Suelo desnudo a Matorral espinoso, SD→M XER: Suelo desnudo a Matorral xerófilo.....	128
Fig. IV.24 Mapas de uso y vegetación de los años 1989, 1999 y 2006. En el rectángulo azul que aparece en el noreste de Coixtlahuaca se refleja el cambio la Selva baja caducifolia. En el óvalo negro se representa el cambio del matorral xerófilo y Bosque de Quercus spp. en el oeste del distrito.	129
Fig. IV.25 Evolución del uso suelo desnudo con el resto de usos (uso forestal y uso agrícola-pastizal) en los periodos de tiempo 89-99 y 99-06. SD→FOR: suelo desnudo a terrenos forestales, FOR→SD: terrenos forestales a suelo desnudo, SD→AG-PZ: Suelo desnudo a terrenos agrícolas o pastizales, AG-PZ→SD: Terrenos agrícolas o pastizales a suelo	

desnudo. SD: Terrenos con suelo desnudo que no cambian de uso en el periodo de tiempo considerado.....	130
Fig. IV.26 Mapa de evolución del uso agrícola y pastizales a terrenos con suelo desnudo para el periodo 1989-1999 en los municipios de Coixtlahuaca. SD→AG-PZ: Conversiones de Suelo desnudo a terrenos agrícolas o pastizales; AG-PZ→SD: conversiones de terrenos agrícolas o pastizales a Suelo desnudo.	131
Fig. IV.27 Mapa de evolución del uso agrícola y pastizales a terrenos con suelo desnudo para el periodo 1999-2006 en los municipios de Coixtlahuaca	132
Fig. IV.28 Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Coixtlahuaca en el año 1989	136
Fig. IV.29 Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Coixtlahuaca en el año 1999	136
Fig. IV.30 Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Coixtlahuaca en el año 2006.	139
Fig. IV.31 Evolución de las superficies de Coixtlahuaca en los tres años de estudio clasificadas en los tipos de erosión FAO y PNUMA (1989)	139
Fig. V.1 Mapas de usos de suelo y vegetación para los años 1989, 1999 y 2006.....	140
Fig. V.2 Evolución de la superficie de los usos de suelo en Coixtlahuaca desde el año 1989	141
Fig. V.3 Abandono de tierras agrícolas en San Miguel Tulancingo.....	142
Fig. V.4 Ganado caprino en una ladera de alta pendiente con vegetación de Selva baja caducifolia (Tepelmeme Villa de Morelos).....	143
Fig.V.5 a) Mapa de comunicaciones de Coixtlahuaca (Fuente: UNAM, 2002) b) desmontes en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos para la construcción de la Supercarretera	145
Fig. V.6 a) Avance de cárcavas (Santa María Nativitas) b) Pastizal que se va convirtiendo paulatinamente en suelo desnudo por erosión hídrica (San Juan Bautista Coixtlahuaca)	148

LISTA DE TABLAS

Tabla III.1 Límites de Coixtlahuaca en coordenadas proyectadas UTM, zona 14 Norte. UNAM (2002).....	15
Tabla III.2 Superficie de los municipios de Coixtlahuaca y su proporción en el distrito. (UNAM, 2002)	18
Tabla III.3 Superficie por municipio perteneciente a la Reserva de la biosfera (Leyva, 2009)...	19
Tabla III.4 Lenguas indígenas habladas en Coixtlahuaca (INEGI, 2005).....	32
Tabla III.5 Analfabetismo en Coixtlahuaca desglosado por edades (INEGI, 2005)	32
Tabla III.6 N° de hogares por municipio que utilizan gas, leña y carbón. (Leyva, 2009).....	39
Tabla III.7 Especies más características del Chaparral.....	42
Tabla III.8 Especies más características de la Selva baja caducifolia.....	45
Tabla III.9 Especies más características del Matorral espinoso	46
Tabla III.10 Algunas especies del Matorral xerófilo en Coixtlahuaca	48
Tabla III.11 Algunas especies del género Quercus en Coixtlahuaca (Cortés, 2007)	50
Tabla III.12 Características más importantes de las imágenes de satélite usadas	56
Tabla III.13 Datum, elipsoide y sistema de proyección de las imágenes de satélite utilizadas..	57
Tabla III.14 Tramo de longitud de onda en μm de las bandas del satélite Landsat 4 (Eastman, 2006).....	58
Tabla III.15 Tramo de longitud de onda en μm de las bandas del satélite Landsat 7 (Eastman, 2006)	59
Tabla III.16 Composición RGB utilizada para cada año	65
Tabla III.17 Superficie de cada una de las áreas de control.....	58
Tabla III.18 Valor de K para cada tipo de suelo según la clasificación FAO y para cada clase textural (Figueroa et al., 1999).....	86
Tabla III.19 Valor del factor C para coberturas forestales (Wischmeier y Smith (1978))	89
Tabla III.20 Grado de erosión hídrica según la pérdida de suelo en ton/ha.año (FAO y PNUMA, 1989)	93
Tabla IV.1 Superficie de cada categoría en la imagen clasificada 2006	98
Tabla IV.2 Usos clasificados en el mapa 2006 de usos de suelo y vegetación, iniciales y definitivos	99
Tabla IV.3 Resultado del muestreo y enfrentamiento de los resultados con el mapa de vegetación y usos del 2006	105
Tabla IV.4 Superficies de cada uso del suelo y tipo de vegetación en el mapa autoridades del 2006	109

Tabla IV.5 Porcentaje de superficie forestal en Coixtlahuaca	110
Tabla IV.6 Reclasificación de las categorías de los mapas de vegetación y usos en uso forestal, agrícola-pastizal y suelo desnudo.....	118
Tabla IV.7 Superficie del uso forestal, agrícola-pastizal y suelo desnudo en Coixtlahuaca en los años 1989, 1999 y 2006	118
Tabla IV.8 Superficie en Km2 de cambio y permanencia de los usos de Coixtlahuaca en el periodo 89-99	120
Tabla IV.9 Superficie de cambio y permanencia de los usos de Coixtlahuaca en el periodo 1999-2006.....	120
Tabla IV.10 Evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales en el periodo 1989-1999 por municipios de Coixtlahuaca	125
Tabla IV.11 Evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales en el periodo 1999-2006 por municipios de Coixtlahuaca	126
Tabla IV.12 Principales pérdidas y ganancias en el uso forestal respecto al uso agrícola pastizal	130
Tabla IV.13 Valores del factor R	133
Tabla IV.14 Clasificación del factor R (Mannaerts, 1999).....	133
Tabla IV.15 Valores del factor K en los suelos de Coixtlahuaca	134
Tabla IV.16 Tabla para el cálculo del factor C en Coixtlahuaca, Wischmeier y Smith (1978)..	134
Tabla IV.17 Superficies afectadas en Coixtlahuaca por los distintos tipos de erosión en el año 1989 según la clasificación FAO y PNUMA (1989)	138
Tabla IV.18 Superficies afectadas en Coixtlahuaca por los distintos tipos de erosión en el año 1999 según la clasificación FAO y PNUMA (1989)	138
Tabla IV.19 Superficies afectadas en Coixtlahuaca por los distintos tipos de erosión en el año 2006 según la clasificación FAO y PNUMA (1989)	138
Tabla IV.20 Pronostico de pérdidas de suelo en Coixtlahuaca en cada año según modelo RUSLE	142

I. INTRODUCCIÓN

El distrito de Coixtlahuaca se encuentra dentro de la región Mixteca, al sureste de México. A lo largo de su extensión, de 168.674 ha, habitan 8.949 personas en unas condiciones en las que destaca la dura climatología, la falta de agua, la gran altitud, la compleja topografía y los escasos recursos. Este distrito, lejos de reflejar su esplendoroso pasado, es uno de los territorios más pobres, erosionados y deforestados de todo el país. La situación actual ha llevado al Consejo Nacional de Población a clasificar a 11 de los 13 municipios que componen Coixtlahuaca como de alto índice de marginalidad. A su vez, este distrito destaca tristemente por ser uno de los máximos exportadores de mano de obra de todo el país, tanto a otros estados de México como a los Estados Unidos (Berumen, 2004).

El estado actual de degradación es consecuencia del carácter torrencial de las lluvias, que por la compleja topografía de la región provocan más daños. También es consecuencia de la sobreexplotación de recursos naturales a lo largo de su historia por parte de la población ante la falta de otras fuentes de ingreso, y del abandono de técnicas prehispánicas de control de la erosión. El elevado número de cabezas de ganado caprino que ha llegado a pastorear en este distrito, la intensiva extracción de leña como combustible mayoritario hasta la fecha y las roturaciones para nuevos terrenos agrícolas, son ejemplos del aprovechamiento desordenado e irracional que se ha realizado en su historia, y causas del paisaje árido y sin recursos de gran parte de Coixtlahuaca. Ante esto, la vegetación en la región se encuentra relegada a lugares alejados de núcleos urbanos, en un estado degradado, o directamente no existe en una proporción importante de Coixtlahuaca.

La inmensa mayoría de la superficie de la zona de estudio, forma parte de la cuenca alta de uno de los ríos más importantes de la vertiente Atlántica, el Papaloapan; por ello es importante controlar la cantidad de sedimentos que se pierden cuenca abajo. En Coixtlahuaca, por las condiciones de vida de la población, las pérdidas de suelo tienen consecuencias más severas: la pérdida de fertilidad de las tierras por pérdida de suelo supone graves daños directos a la población local, que obtiene de las cosechas alimentos para su propio consumo. La población se ve afectada a su vez por la desecación de los acuíferos al no haber infiltración de las lluvias, siendo éstos la fuente de agua de la población. Por la importancia que tiene para la población nativa y su relación directa con la deforestación, en este proyecto se estudia de manera orientativa los niveles de erosión hídrica mediante la ecuación RUSLE (Revised Soil

Universal Loss Equation). A su vez, se relacionan estos valores de pérdidas de suelo con los cambios de uso en los últimos años con vistas a que el distrito conozca las dimensiones del problema, se localicen aquellas zonas donde la erosión es más grave y se centren ahí las actuaciones futuras.

El uso de imágenes de satélite para evaluar los recursos naturales, permite la zonificación de la vegetación y usos de suelo, obteniendo como resultado información tanto numérica como cartográfica de gran detalle. Esta información, aunada a las ventajas de la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG), facilita la actualización, análisis del desarrollo, dinámica y degradación de los recursos. En este estudio se usará como material imágenes de satélite de distintos años que serán procesadas con SIG y programas procesadores de imágenes para extraer de ellas información de coberturas vegetales y distribución de usos. En particular en este proyecto los programas utilizados han sido IDRISI (edición Andes) y ArcGis 9.2.

A pesar de la intensa deforestación y sobreexplotación que se ha dado en este distrito, aún existen formaciones vegetales de gran valor ecológico. Así, desde el año 1998, cerca de 90.000 hectáreas de este distrito pertenecen a la Reserva de la Biosfera Tehuacán Cuicatlán debido a la riqueza florística y el elevado número de endemismos de la región. Las consecuencias económicas y administrativas que conlleva la declaración para Coixtlahuaca se detallan más adelante.

La Universidad Tecnológica de la Mixteca fue fundada hace 20 años por el doctor Modesto Seara Vázquez como uno de los campus que integra una red llamada Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca (SUNEO). Este sistema de Universidades fue concebido con un doble objetivo, tanto ofrecer formación académica, como ser instrumento cultural de la transformación del entorno social de uno de los estados más pobres de México, Oaxaca. La creación de la SUNEO persigue, entre otros objetivos, desalentar la emigración de jóvenes oaxaqueños, dar puestos de trabajo y desarrollar proyectos que activen la economía de la zona. El Instituto de Hidrología, perteneciente a la Universidad Tecnológica de la Mixteca, ha codirigido este proyecto en México y se trata de un instituto de investigación que tiene como objetivo buscar soluciones científicas a los problemas de degradación de los recursos naturales; buscando con ello incrementar la cantidad y calidad de estos recursos y elevar el nivel de vida de la sociedad en la Región Mixteca.

Además del presente proyecto, otros tres Proyectos de Fin de Carrera más se han llevado a cabo este mismo año en el distrito de Coixtlahuaca por alumnos de la ETSI de Montes, todos dentro del programa de becas de Proyectos Fin de Carrera para el desarrollo de la Universidad Politécnica de Madrid. Los cuatro proyectos están enmarcados en el Programa “Prevención y control de la desertificación y abastecimiento de agua a comunidades de la Región Mixteca”, dirigido por el Doctor Fidencio Sustaita Rivera del Instituto de Hidrología. Estos proyectos presentan como objetivo final el propio del programa, esto es, contribuir a prevenir y controlar la desertificación, y abastecer de agua a las poblaciones de la región Mixteca. Por abarcar temáticas diferentes pero referidas a un mismo territorio, los cuatro proyectos juntos alcanzan mayores objetivos que si los proyectos se realizasen por separado, ya que por encontrarse relacionados en múltiples aspectos, se realiza un intercambio de información de unos a otros como se verá a lo largo del presente proyecto. Se evita de esta manera repetir la generación de información, y por tanto se logran de una manera eficaz e integral las metas propuestas: encontrar de manera directa e indirecta soluciones a la desertificación y al abastecimiento de agua en este territorio. Los cuatro proyectos enmarcados en el programa citado en el párrafo anterior son los siguientes:

“Evaluación de obras de conservación de suelos en el distrito de Coixtlahuaca (Oaxaca, México) y bases para actuaciones futuras”, por Carlos Jiménez Barrios.

“Efectos sobre las propiedades del suelo de las reforestaciones realizadas en el distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca, México”, por María del Riego Ceña.

“Planificación rural sostenible en el Distrito de Coixtlahuaca”, por M^a Jesús Serra Varela.

“Análisis espacial y temporal del uso del suelo en Coixtlahuaca, Oaxaca, México”, por Elena Herrero Rodríguez.

Los dos primeros proyectos citados estudian el estado de las obras hidráulicas y reforestaciones respectivamente. Estas actuaciones fueron realizadas en el distrito fundamentalmente a lo largo del siglo XX por parte de instituciones y el estado para resolver el problema de la desertificación y pérdida de suelo. Los proyectos buscan encontrar cuáles son los errores cometidos y cuál es la forma correcta de actuar en futuras intervenciones en los aspectos correspondientes para cumplir los objetivos de la manera más correcta y eficaz posible. El tercero de ellos, como su nombre indica, se trata de una planificación en base a los problemas y recursos existentes del distrito. En el Anexo 1 se encuentra una descripción más

detallada del Programa “Prevención y control de la desertificación y abastecimiento de agua a comunidades de la Región Mixteca”.

Es importante destacar la función en este Programa de organizaciones como *Planet action*. Esta organización fundada en el 2007 por *Spot Image* tiene como finalidad apoyar tecnológicamente a proyectos y programas que contribuyan a la lucha contra el cambio climático. Esta organización ha cedido al Instituto de Hidrología imágenes del satélite SPOT (*Satellite Probatoire pour l’Observation de la Terre*) de alta resolución que cubren la zona de estudio, las cuales han sido herramienta fundamental en la consecución exitosa de los cuatro proyectos de Fin de Carrera antes citados. En el Anexo 2 se incluye la descripción de este Programa que existe en la web de *Planet action*.

A su vez, *Global Land Cover Facility* ha provisto gratuitamente de imágenes Landsat a este proyecto. Esta organización está patrocinada por la Universidad de Maryland (EEUU) y recibe fondos de agencias gubernamentales estadounidenses, empresas privadas y organizaciones sin fines lucrativos para financiarse económicamente. Ante la nula disponibilidad de material cartográfico de años pasados, esta organización ha suministrado la única fuente de información disponible para la realización de este proyecto.

Con la realización del presente proyecto se consigue analizar, ante el problema histórico de la sobreexplotación de los recursos, cómo ha cambiado la distribución del uso forestal y del resto de usos en Coixtlahuaca, y su relación con el grave problema de la pérdida de suelo. Además, se provee a las autoridades de Coixtlahuaca de un mapa de usos del suelo y vegetación de su distrito, con la finalidad de servir de herramienta básica y actualizada para la gestión ordenada y racional de sus recursos naturales. Con una gestión adecuada se conseguirá paulatinamente frenar el avance de la desertificación y mejorar por tanto la infiltración de agua en los acuíferos, actualmente única y escasa fuente de agua de la población. Las comunidades de la Mixteca, conscientes del problema y motivadas con recuperar el paisaje y los recursos que existían siglos atrás, cuentan ahora con los resultados y conclusiones del presente proyecto. Se espera que encuentren en ellos información práctica para encaminar su valioso y ancestral trabajo comunitario hacia la recuperación de la tierra en la que viven.

1.1. RESEÑA HISTÓRICA

Los cambios sustanciales en cuanto a la deforestación que se han dado en la región Mixteca no son recientes, se dieron progresivamente desde hace varios siglos según indican diversas fuentes y las propias comunidades de Coixtlahuaca, las cuales afirman que siempre la conocieron así: árida y degradada. En consecuencia, se ha incluido un punto que expone la historia de Coixtlahuaca de manera concisa y atendiendo de especial manera a la explotación de recursos para conocer de manera óptima las causas del estado actual de degradación.

A día de hoy, los mixtecos son uno de las poblaciones más pobres de México. Sin embargo, antes de la conquista española fueron una muy importante civilización que ha contribuido en gran medida a la cultura mexicana. Además, esta región fue el origen de la agricultura mesoamericana, siendo el centro de origen del maíz, frijol, amaranto, calabaza y otros cultivos importantes para la humanidad (Berumen, 2004). Dentro de esta región se encuentra Coixtlahuaca, en la denominada Mixteca Alta, la parte de más elevada de la Región Mixteca.



Fig. I.1 Localización de la Región Mixteca en México

La Región Mixteca vivió su época de florecimiento en el periodo Posclásico, periodo que comprende desde la caída de las grandes urbes como Monte Albán y Teotihuacán, entre los siglos VII y X, y la conquista española en el siglo XV. La Mixteca Alta, era una de las regiones más prósperas de Mesoamérica. Su mayor fuente de riqueza era el mercado de productos, exportaba artículos de gran lujo a otras regiones como cerámica policromada, oro, jade, arte plumario, orfebrería, tallas en cristal de roca, hueso y madera; así como sal, seda y grana cochinilla.

Antes de la llegada de los españoles se vivieron en la Mixteca Alta dos crecimientos destacados de población, uno datado en el periodo clásico (entre los siglos III y el comienzo del periodo posclásico), y otro en el posclásico. Especialmente el segundo fue importante, según registros, el número de localidades en esta parte de la Mixteca aumentó en montañas y valles hasta multiplicarse por dos y aumentó a su vez notablemente el tamaño de los pueblos.

En su época de florecimiento, la Región Mixteca se encontraba localizada en un lugar estratégico ya que se encontraba en la ruta comercial entre el Altiplano Central de México y la ruta del Pacífico hacia el Sur, hacia Guatemala. Esto suscitó el interés de los aztecas, civilización asentada en el centro de México que se encontraban en época de expansionismo. Y así, en el siglo XV los aztecas avanzaron hasta llegar a los Valles Centrales de Oaxaca (centro de la Mixteca). En esta expansión conquistaron una de las mayores urbes de Mesoamérica, Coixtlahuaca. Esta comarca fue convertida en centros concentradores del tributo exigido por los conquistadores.

La llegada de los españoles a México en 1519 inició el llamado Periodo Colonial. La mayor parte de los mixtecos, en vez de oponerse con armas a la conquista española, establecieron convenios con los invasores. Se originó un proceso de mutua adaptación cultural que a su vez permitió que los mixtecos conservaran algunas de sus tradiciones y costumbres, tales como su lengua, prácticas comerciales, etcétera.

La llegada de los españoles supuso varias consecuencias importantes para la población, una de ellas fue la conversión al catolicismo. Se construyeron varios conjuntos conventuales de gran importancia arquitectónica, uno de ellos en San Juan Bautista Coixtlahuaca. Desde ellos, los franciscanos y dominicos emprendieron la evangelización de la zona. El hecho de que los españoles mandasen construir estos monumentos en este territorio y no en otro lugar, muestra la importancia que tenía la región a su llegada.

Las poblaciones de Coixtlahuaca adquirieron en esa época los nombres que tienen actualmente. Los españoles renombraron todos los pueblos de México siguiendo el siguiente patrón: nombre de un santo seguido del nombre en lengua nativa que tuviese la población antes de la llegada de los españoles. San Cristóbal Suchixtlahuaca y San Miguel Tequixtepec, cuyos segundos nombres en idioma náhuatl significan “llanura de las flores” y “cerro caracol” respectivamente, son ejemplos de ello.

Además, los españoles introdujeron las enfermedades, un factor que cambió la tendencia de crecimiento demográfico que se seguía. La población nativa tenía poca

resistencia a las enfermedades contagiosas que portaban los nuevos conquistadores, como la viruela y el sarampión. La población fue drásticamente mermada al final del siglo XVI con una caída de más del 90% entre 1520 y 1590 (Cook y Borah, 1968). A pesar de este descenso poblacional, la Mixteca Alta fue capaz de ofertar trabajo no solo para construir docenas de iglesias (figura I.2), sino que la región se convirtió en un importante productor y exportador de cochinilla y seda durante este periodo.



Fig. I.2 Convento dominico del siglo XVI en San Juan Bautista Coixtlahuaca

Durante el periodo colonial se incrementaron las actividades de exportación, en especial de la grana cochinilla, muy valorada por los nuevos conquistadores. La grana cochinilla se obtiene de un insecto (*Dactylopius coccus*) que es parásito del nopal (*Opuntia* spp.), una planta xerófila muy abundante en esta región. Del cuerpo desecado de la cochinilla hembra se obtiene el ácido cármico, un colorante rojo. El aumento de las exportaciones del tinte se debió a la introducción de nuevo ganado en América, entre ellos el ovino. El tinte obtenía colores más intensos en las nuevas prendas de lana que en los tejidos prehispánicos como el algodón o las fibras de yucas o agaves (Hernández, 2001).

A finales del siglo XIX, con la Revolución Industrial, se inicia la progresiva decadencia económica de la Mixteca. Con la Revolución Industrial aparecen en el mercado anilinas y colorantes artificiales, de menor costo de producción que la grana cochinilla, que la sustituyen casi totalmente. El mercado de este tinte natural desciende bruscamente, y con él, la principal fuente de comercio de esta región. Otro hecho que desfavoreció las ya afectadas

exportaciones fue el ferrocarril, que en su trazado, dejó incomunicada a la Mixteca (Ponce et al., 1997).

A día de hoy, como se comenta al principio de este apartado, la Mixteca es una de las regiones más degradadas y más pobres de todo México. A su vez, las tasas de emigración son altísimas, tanto hacia los Estados Unidos como a grandes ciudades de México. Ante la situación actual de este distrito, inevitablemente surge la pregunta de cuánto tiempo lleva Coixtlahuaca en esta situación; autores como Sanders (1975) sostienen que el estado actual de la Mixteca ha sido consecuencia del asentamiento de una población muy densa durante un periodo de tiempo muy largo.

En el periodo posclásico, los mixtecos vivían fundamentalmente del mercado. Se sabe que sus cosechas no satisfacían las demandas alimenticias de la población e importaban alimentos del mercado regional. Un hecho que lo corrobora es que los aztecas, en su invasión de esta comarca, les exigían como tributo seda, tejidos, oro y grana cochinilla; pero no comida. Aun así, los aumentos de población, que ocurrieron en la época precolonial, siempre traen como consecuencia nuevas roturaciones.

A finales del XIX sucumbe la principal fuente de ingresos, la grana cochinilla, frente a los nuevos colorantes artificiales. Esto lleva a la población a roturar y sembrar maíz y otros productos básicos de su dieta que antes conseguían en el mercado regional. Ante este hecho la población a su vez se proveyó de ganadería menor, fundamentalmente caprina, importado por los españoles, y se convirtió en la actividad económica más importante de la región. Asimismo, esta actividad ganadera era la óptima para una región que había visto mermada su población por las epidemias, por requerir menos mano de obra. Los habitantes de la Mixteca, en cuanto necesitaban una cuantía de dinero, por ejemplo para una celebración, vendían el número de cabezas necesarias para conseguirlo. El ganado del que se proveían era el caprino, muy ramoneador y andador, y en densidades altas, como ha sido el caso, degrada mucho la vegetación. El número de cabezas pastoreando por esta región aumentó a su vez cuando los españoles, ante la crisis que se vivía en España en el siglo XVII, optan como alternativa por el ganado caprino (Franco et al., 2005). Hasta el día de hoy, se ven pastar los rebaños de cabras por Coixtlahuaca, aunque el número de cabezas por familia ha descendido, probablemente por la emigración.

El abandono de las tierras por su descenso de producción por parte de los explotadores es otra causa de la erosión actual. Esta causa corresponde a la inestable situación demográfica y a la precaria economía que ha vivido la Alta Mixteca (Comisión del

Papaloapan - Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1972). Los pobladores, en cuanto descendía la productividad de sus tierras, talaban una porción de bosque, lo quemaban y cultivaban allí. De esta manera se aprovechaban de la fugaz fertilidad que aportan las cenizas resultado de la quema a la tierra. A esta técnica se la conoce como “Tumba, roza y quema”.

El último hecho contribuyente al estado actual de la Alta Mixteca ha sido la emigración. Después de estar la Mixteca tan densamente poblada, la población, en busca de una vida mejor, abandona su región y las tierras que cultivaba. La agricultura en esta región montañosa y con problemas de agua se ha adaptado a las condiciones existentes, y se sabe que en muchos lugares se cosechaba en terrazas. Éstas tenían el propósito de ampliar la escasa superficie cultivable mediante el aplanamiento intencional de las pendientes, así como el mejor aprovechamiento del agua disponible. Con la emigración se abandonaron terrenos, y entre ellos a las terrazas, que necesitan un mantenimiento. Por ello, muchas de ellas se encuentran hoy convertidas en cárcavas, en donde se pierden al año toneladas de suelo por las estacionales lluvias, convirtiendo a los ríos en corrientes de agua de tonalidades rojas en los meses de verano.

En este último siglo, se han realizado esfuerzos para recuperar esta zona como reforestaciones, obras hidráulicas para mejorar la infiltración de agua, etc. que se expondrán en el siguiente apartado: Antecedentes. Además, las autoridades intentan sensibilizar ecológicamente a la población con campañas, carteles (ver figura I.3), programas de subvenciones, etc. intentando mentalizar a la población, con un éxito dudoso, de que deben extraer leña de forma racional, de que no deben permitir entrar al ganado en reforestaciones o sitios ya muy pastoreados, etc.



Fig. I.3 Cartel en Tlacotepec Plumas para la sensibilización ambiental (Fuente: Carlos Jiménez Barrios).

1.2. ANTECEDENTES

Ante la situación económica, social y ecológica de la Región Mixteca, se han realizado numerosos intentos de conservar el suelo, reforestar, frenar la emigración y mejorar las condiciones de vida de su población por parte del gobierno, comisiones de las cuencas hidrográficas y asociaciones, entre otros. En las líneas que siguen se describen algunas de las actuaciones más significativas y su impacto en la sociedad, la economía y el medio ambiente.

En la década de los años treinta del siglo XX, la Mixteca obtuvo algunos beneficios de la reforma agraria y distritos como Coixtlahuaca fueron apoyados por programas para mejorar la infraestructura hidráulica y mejorar la producción agrícola. Entre las décadas de los 40 y de los 60 no se consideró a la Mixteca prioritaria para el desarrollo agropecuario, pero se realizaron reforestaciones, terrazas y otras obras control de pérdida de suelo por parte de las Comisiones del Balsas y el Papaloapan, equivalente a las Confederaciones Hidrográficas de España de los dos ríos más significativos de la región, y de gran importancia en México (Altieri *et al.*, 2006).

En los años setenta, el gobierno federal, a través del Programa Integral de Desarrollo Rural de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, intentó promover mejoras de producción agrícolas. El programa, aunque consiguió importantes volúmenes de producción a corto plazo, provocó la pérdida de variedades criollas agrícolas, sobreexplotación de acuíferos, contaminación de suelos por los fertilizantes, aceleración de la deforestación y erosión del suelo (Altieri *et al.*, 2006).

En los años ochenta, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, la Organización Internacional del Trabajo (organismo de la ONU) y el Gobierno de Oaxaca, el Estado canalizó importantes recursos económicos para la construcción de obras de captación de agua con fines de riego e incrementar la producción de alimentos. Este programa se basó en el trabajo comunitario de las comunidades indígenas (en Oaxaca conocido como "Tequio"), pero los aspectos técnicos y estratégicos pasaron a un segundo término, con su consecuente fracaso, por el carácter extensivo y partidista de dicho programa (Altieri *et al.*, 2006).

En los años noventa surgen nuevos programas como el de la Comisión Nacional de Zonas Áridas de reforestación con especies frugales en esta región con escaso éxito por la falta de asesoría técnica y seguimiento. Con el surgimiento de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) en 1995, el Programa Nacional de

Reforestación pasó a pertenecer a ésta, fortaleciéndola. Se vinculó con los Programas de Desarrollo Regional Sustentable canalizando más recursos económicos a regiones altamente degradadas como la Mixteca, esta vez atendiendo a no repetir los mismos errores que los programas gubernamentales anteriores. Además, por primera vez el estado apoyó a diversos grupos sociales que habían demostrado avances en los procesos de conservación de agua y suelo, y protección de biodiversidad; ejecutando proyectos que sirviesen de modelo y réplica para el resto de la región, y con continuidad en el futuro (Altieri *et al.*, 2006).

Según este mismo autor la inmensa mayoría de estos programas no han atendido los problemas estructurales de pobreza, desarrollo económico y productivo, y deterioro ambiental; no los han revertido, sino que los han perpetuado, e incluso, incrementado en algunos casos. Además, este autor afirma que las alternativas viables para resolver el deterioro de los suelos, la escasez de agua y la producción primaria sostenible, han surgido de organizaciones de la sociedad civil y de comunidades, que tienen experiencia en el desarrollo de modelos organizativos autónomos y apropiados a las condiciones sociales y ambientales locales. Con la alianza entre organismos de la sociedad civil y comunidades con administraciones del estado como Secretaría Medio Ambiente y Recursos Naturales (la nueva SEMARNAP), la Comisión Nacional de Áreas Protegidas y la Comisión Nacional Forestal se demuestra que se pueden establecer prácticas respetuosas y alejadas de objetivos partidistas, y que con escasos recursos se pueden llegar a obtener resultados de gran impacto social y ambiental.

En el año 2009, la Universidad Politécnica de Madrid firmó un proyecto en colaboración con la Universidad Tecnológica de la Mixteca de cooperación al desarrollo para el abastecimiento de agua a la comunidad San Martín de Palo Solo, en Coixtlahuaca. Esta comunidad, como muchas otras, se encuentra a gran altitud, a más de 2.100 m.s.n.m. y es inviable económicamente el bombeo de agua hasta la población. El proyecto de la UPM está llevando a cabo la construcción de varias presas en una pequeña cuenca aguas arriba de la comunidad que la proveen de agua. Varias hectáreas reforestadas en esta pequeña cuenca ayudan a la infiltración de agua en el suelo.

Parte del distrito de Coixtlahuaca está incluido en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán Cuicatlán desde el año 1998. Según un cartel informativo que se encontraba en el Comisariado de Bienes comunales del municipio de Tlacotepec Plumas, en dicha Reserva se están siguiendo los siguientes planes de actuación:

- Reforestaciones en terrenos con aptitud forestal pero con capacidad de regeneración mínima. También construcción de viveros comunitarios con especies nativas.
- Ecoturismo: Se promueve en el distrito la construcción de cabañas, establecimiento de señales con los nombres de especies nativas y capacitación de guías.
- Sistemas agroforestales: en la Reserva se promueve la asociación de cultivos agrícolas, especies forestales y/o animales domésticos para incrementar la producción de cultivos y conservar ecosistemas.
- Aprovechamiento sostenible. A través de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo la Reserva desarrolla el proyecto “Reconversión productiva y aprovechamiento sostenible de la leña”. Además se promociona el uso de estufas ahorradoras de leña.
- Creación de las Unidades de “Manejo” para la conservación de la vida silvestre. Éstas tienen como objetivo general conservar el hábitat natural de poblaciones animales y vegetales, haciendo un aprovechamiento legal y viable de la vida silvestre.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Bocco et al. (2001), en su trabajo sobre la dinámica del uso de suelo en el estado de Michoacán (México) afirma: “En México, estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea prioritaria. Nuestro país está entre los países con mayor deforestación a nivel mundial. [...] Los patrones de deforestación varían notablemente por regiones, con cerca del 80% concentrado en las regiones centro y sur del país”.

Para frenar de forma necesaria y urgente el deterioro de este territorio son imprescindibles planes de gestión descritos en base a los recursos existentes y a la problemática social, económica y natural de la región.

Respecto a la cartografía que se tiene del distrito, hay mapas que estudian el estado de Oaxaca, pero no concretamente el distrito de Coixtlahuaca, de aproximadamente 170.000 ha. Por tanto, los mapas existentes a día de hoy proporcionan información incorrecta o insuficientemente precisa por estar referida a un tan extenso territorio.

Por este vacío de información cartográfica, por la necesidad de conocer la dinámica temporal de usos de suelo y su relación con el problema de la erosión existente, se desarrolla este proyecto enmarcado en “Proyectos de Fin de Carrera para el Desarrollo de la UPM” y el Programa del Instituto de Hidrología antes citado, cumpliendo con sus objetivos de fundación.

Este proyecto es un instrumento para lograr los objetivos de la población de Coixtlahuaca, ávida de recuperar el entorno en el que vivieron sus antepasados, disponer de nuevo de los recursos para vivir dignamente y frenar el masivo flujo de su juventud hacia EEUU u otros estados.

Se entregará a las autoridades un mapa de usos del suelo y vegetación de Coixtlahuaca, actualizado y preciso, generado con las útiles herramientas de la teledetección y los sistemas de información geográfica. Este estudio además proporciona valiosa información acerca de la dinámica de usos, necesaria a su vez para la planificación.

II. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto es analizar la evolución de los usos de suelo en Coixtlahuaca desde el año 1989 hasta la actualidad, relacionándolo a la vez, por la obvia dependencia existente, con la evolución de las pérdidas de suelo en el distrito; y así plasmar el problema de la erosión en la zona así como el de la deforestación. Este análisis a su vez servirá como herramienta para una necesaria gestión integral del distrito, tanto por dar a conocer cómo se ha llegado hasta el estado actual. A su vez se proporciona al distrito un mapa actualizado y preciso de usos del suelo y vegetación.

Dicho objetivo general se va a conseguir a través de los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar información de la región sobre su estado natural, administrativo, económico y social.
- Generar mapas de usos del suelo y vegetación para los años 1989, 1999 y 2006.
- Obtener cuantitativamente y cartográficamente los cambios en los usos del suelo que se han dado en el distrito de Coixtlahuaca desde el año 1989.
- Deducir para el periodo de tiempo del estudio, los patrones de conversión de unos usos de suelo en otros y las causas de los cambios.
- Proporcionar a las autoridades municipales un mapa de usos de suelo y vegetación actualizado que sirva como herramienta de gestión.
- Establecer la relación entre las pérdidas de suelo por erosión hídrica calculada mediante RUSLE y los cambios de uso de suelo.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1. LOCALIZACIÓN Y SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

La región de Coixtlahuaca, con una superficie de 168.674,27 ha, se encuentra en el estado de Oaxaca, situado al sureste de México. El estado de Oaxaca linda con los estados de Guerrero, Puebla, Veracruz y Chiapas, tal y como muestra la figura III.1. La parte noroeste del distrito de Coixtlahuaca linda con el vecino estado de Puebla.



Fig. III.1 Localización de Coixtlahuaca en el estado de Oaxaca y en México

Orográficamente, Coixtlahuaca se localiza en el llamado Nudo Mixteco, zona montañosa que se encuentra entre los estados de Puebla y Oaxaca. En él confluyen tres importantes sistemas montañosos mexicanos: la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico.

Los límites Norte, Sur, Este y Oeste de la región de estudio expresados en coordenadas proyectadas UTM, zona 14 Norte, son los que aparecen en la tabla III.1.

Tabla III.1 Límites de Coixtlahuaca en coordenadas proyectadas UTM, zona 14 Norte. UNAM (2002)

Límite de la región	Valor en metros
Min X	646.731,875
Max X	695.333,625
Min Y	1946.978,875
Max Y	2010.400,000

Coixtlahuaca destaca por las grandes variaciones en cuanto altitud a lo largo de su extensión. La altitud en este montañoso distrito oscila entre los 800 m que se alcanzan en la parte septentrional del distrito, en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos, y los 2.918 metros que se alcanzan en las montañas del municipio de San Francisco Teopam, al occidente de Coixtlahuaca. Entre los puntos citados existen más de 2.000 metros de altitud de diferencia.

Las poblaciones principales se encuentran en los valles centrales a gran altura, entre los 2.000 y los 2.300 metros. Algunas de sus agencias, como el Llano Grande del municipio de San Francisco Teopam, se encuentran a altitudes cercanas a los 2.600 metros.

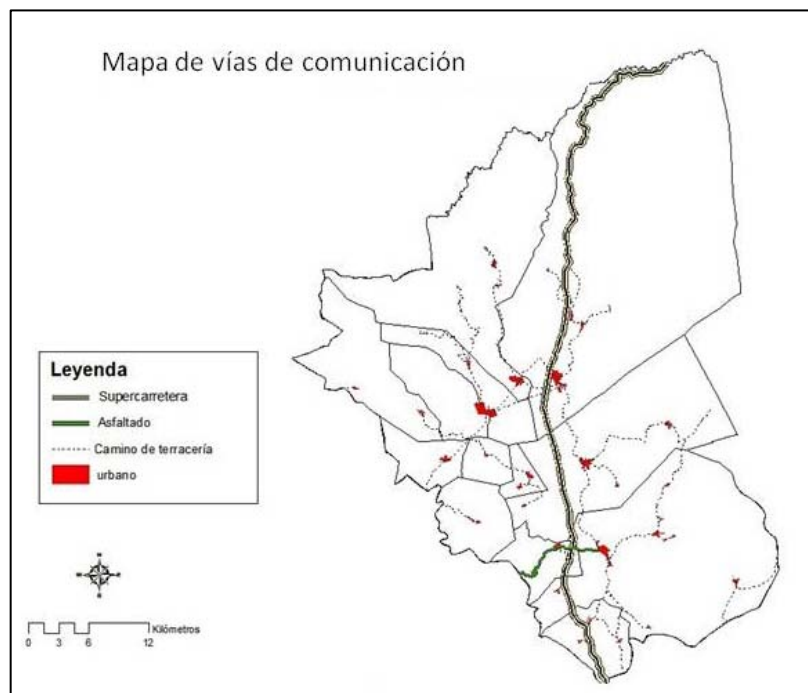


Fig. III.2 Mapa de la red de comunicaciones de Coixtlahuaca. (UNAM, 2002)

En Coixtlahuaca existen cuatro tipos de vías de comunicación (Figura III.2):

- Supercarretera 135 de pago que conecta la Ciudad de México con la capital del estado, Oaxaca. Esta vía recorre por Coixtlahuaca aproximadamente 60 kilómetros. Constituye la mejor vía de comunicación que existe en la zona de estudio, con buen asfaltado, amplios carriles (uno en cada sentido) y arcenes.
- Carretera asfaltada que conecta San Juan Bautista Coixtlahuaca con San Cristóbal Suchixtlahuaca, y su vez a estos con Villa Tejupam de la Unión, del distrito colindante de Teposcolula. En esta población se encuentra la carretera Panamericana.
- Caminos de terracería que comunican municipios y agencias municipales.

- Caminos no aptos para vehículos corrientes.



Fig. III.3 Camino de terracería en Coixtlahuaca.

Los caminos de terracería, como el que se ve en la figura III.3, integran la mayoría de las vías de comunicación de Coixtlahuaca. Estos se vuelven intransitables en época de lluvias, con las consecuencias económicas y sociales que supone para un distrito que se basa mayoritariamente en ellas para desplazarse. A causa de los precarios sistemas de comunicación existentes en el distrito, la movilización dentro de él, en cualquier época del año, es costosa y lenta.

El sistema de comunicación existente tanto dentro de él como con el exterior, ha marcado el estilo de vida de la población y ha supuesto el aislamiento de muchas comunidades. En la época de lluvias muchas comunidades se ven totalmente imposibilitadas a salir del distrito a causa de las malas condiciones de los caminos. Hasta el día de hoy, la inexistencia apenas de carreteras por la que puedan transitar camiones de venta de bombonas de gas para cocinar, ha obligado irremediablemente a la población de numerosas agencias y localidades a calentarse y cocinar con leña de su entorno.

La construcción de la supercarretera 135 es relativamente reciente, y supone un claro acercamiento del distrito de Coixtlahuaca con la capital del estado y con la capital del país. No obstante, este acercamiento se ha dado únicamente en ciertas localidades situadas muy próximas a esta carretera, con la construcción de algunas modestas áreas de servicio y bares de descanso asociadas a ella. Además, algunas mujeres venden productos de su propia cosecha en las carreteras que se incorporan a la carretera federal. Al resto de localidades la

construcción de esta carretera federal no ha supuesto más cambio que facilidad para que su población emigre.

Situación administrativa

El estado de Oaxaca está dividido de dos maneras: una consiste en la división político administrativa que utiliza el gobierno estatal, y que la componen los distritos y municipios. La otra división es la geográfica económica, y Coixtlahuaca pertenece a la región Mixteca en este aspecto. Y así, la Mixteca es una de las ocho divisiones geográfico- económicas de Oaxaca y se encuentra integrada por siete distritos, uno de ellos es Coixtlahuaca.

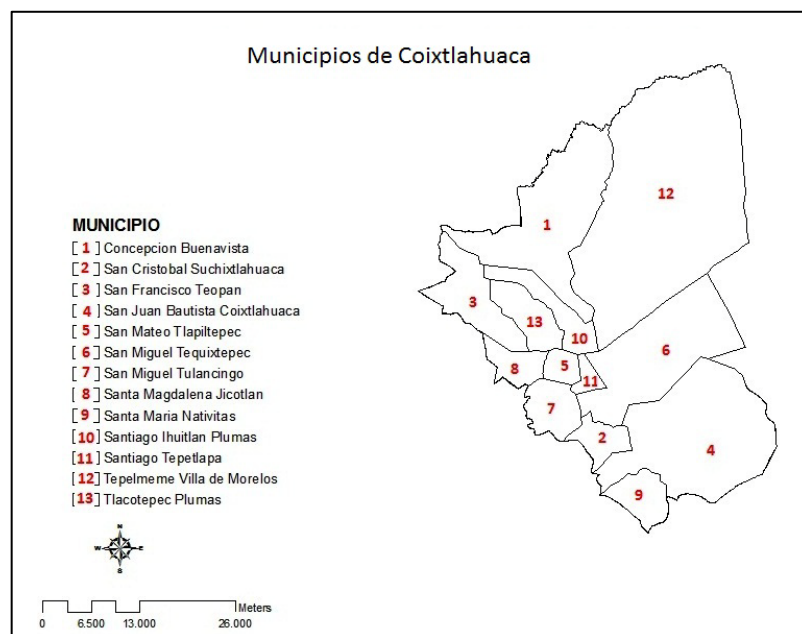


Fig. III.4 Municipios que constituyen el distrito de Coixtlahuaca. (UNAM, 2002)

El distrito de Coixtlahuaca está compuesto de trece municipios cuyos nombres y superficie y porcentaje respecto al distrito aparecen en la tabla III.2.

Tabla III.2 Superficie de los municipios de Coixtlahuaca y su proporción en el distrito. (UNAM, 2002)

Nombre del municipio	Superficie (ha)	% Superficie respecto el total
Concepción Buenavista	22.891,32	13,57
Santa Magdalena Jicotlán	3.369,55	2,00
San Cristóbal Suchixtlahuaca	3.301,59	1,96
San Francisco Teopam	8.679,15	5,15
San Juan Bautista Coixtlahuaca	28.594,85	16,95
San Mateo Tlapiltepec	1.975,75	1,17

Nombre del municipio	Superficie (ha)	% Superficie respecto el total
San Miguel Tequixtepec	21.003,72	12,45
San Miguel Tulancingo	4.840,14	2,87
Santa María Nativitas	4.345,99	2,58
Santiago Ihutlán Plumas	5.035,62	2,99
Santiago Tepetlpa	1.295,99	0,77
Tepelmeme Villa de Morelos	58.197,45	34,50
Tlacotepec Plumas	5.143,15	3,05
Total	168.674,27 ha	100,00

Cada uno de estos trece municipios está compuesto de un número variado de pequeñas poblaciones y de una cabecera municipal; esta última tiene el mismo nombre que el municipio, y de ella dependen el resto de poblaciones. Estas poblaciones asociadas reciben el nombre de agencias municipales, rancheríos, comunidades o localidades. En lo sucesivo se hace referencia al pueblo más importante como cabecera municipal, de igual forma que se conoce en México. En España se podría asociar a un municipio en el que la cabecera municipal constituye el ayuntamiento y las pedanías asociadas a él constituyen las comunidades y rancheríos que se hace referencia en este párrafo. Aunque no es tan común en España que existan tantas pedanías repartidas por el municipio.

La superficie incluida en la Reserva de la Biosfera Tehuacán Cuicatlán abarca en sus cerca de 490.000 ha parte del estado de Puebla y del estado de Oaxaca. De éste último, la Reserva comprende la porción norte y este del distrito de Coixtlahuaca. Un número total de cuatro municipios de Coixtlahuaca pertenecen a la Reserva, el municipio con más superficie contenida dentro de ella es Tepelmeme Villa de Morelos (tabla III.3). La Reserva se decretó el 18 de Septiembre de 1998 debido a su importancia de esta región en cuanto a cultura y a diversidad florística y faunística. Como dato importante cerca del 30 % de las especies de plantas son endémicas (Reserva de la Biosfera, 2010). La vegetación de Coixtlahuaca incluida en la Reserva es del tipo Matorral xerófilo, Selva baja caducifolia y Bosque de Quercus spp., tipos de vegetación que más adelante se describen sus características.

Tabla III.3 Superficie por municipio perteneciente a la Reserva de la biosfera (Leyva, 2009)

Municipio	Superficie (ha)
Concepción Buenavista	8.389,15
Tepelmeme Villa de Morelos	47.724,10
San Miguel Tequixtepec	13.705,81
San Juan Bautista Coixtlahuaca	18.547,43
Total	88.366,49

Un aspecto importante de la situación administrativa son los tipos de propiedad; en México se dan tres tipos de ella: privada, ejidal y comunal. El concepto de tierra es distinto entre los pueblos indígenas y la población mestiza. Los pueblos indígenas siguen considerando la tierra como algo sagrado y colectivo que no se puede vender. En Coixtlahuaca la propiedad es comunal, con algún caso aislado de propiedad ejidal. Se indica a continuación una breve descripción de cada tipo de propiedad:

- Privado: cada propietario es el que toma las decisiones sobre sus terrenos.
- Ejidos: Cada persona dispone de una porción de terreno, pero cualquier decisión relacionada con las tierras tiene que ser tomada por la asamblea en su totalidad. Cada persona con en este tipo de propiedad se llama ejidatario (Servicio Internacional para la Paz (SIPAZ), 2010).
- Tierras comunales: la tierra pertenece a la totalidad de los miembros de una comunidad, y en consecuencia los beneficios de la misma se distribuyen entre todos (SIPAZ, 2010).

A día de hoy se dan en Coixtlahuaca conflictos entre poblaciones por desacuerdos entre sus límites territoriales, en ocasiones con violencia. El tipo de propiedad ha influido en el método de trabajo llevado a cabo en este proyecto. Así para poder llevar a cabo el trabajo de campo es necesario dirigirse antes al Comisariado de Bienes Comunales de los municipios. Esta visita obligada tiene la finalidad de solicitar permiso al municipio para poder realizar en sus terrenos cualquier estudio o acción necesarios.

1.2. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL MEDIO

Hidrología

Los ríos que existen en el distrito de Coixtlahuaca son poco caudalosos y en general estacionales. Esto se debe a que Coixtlahuaca se encuentra en la parte alta de los cursos de dos de los ríos más importantes de México, el Balsas y el Papaloapan, de vertiente pacífica y Atlántica respectivamente. En el mapa que se muestra a continuación (Fig. III.5) se puede apreciar como la inmensa mayoría del distrito vierte al Río Papaloapan.

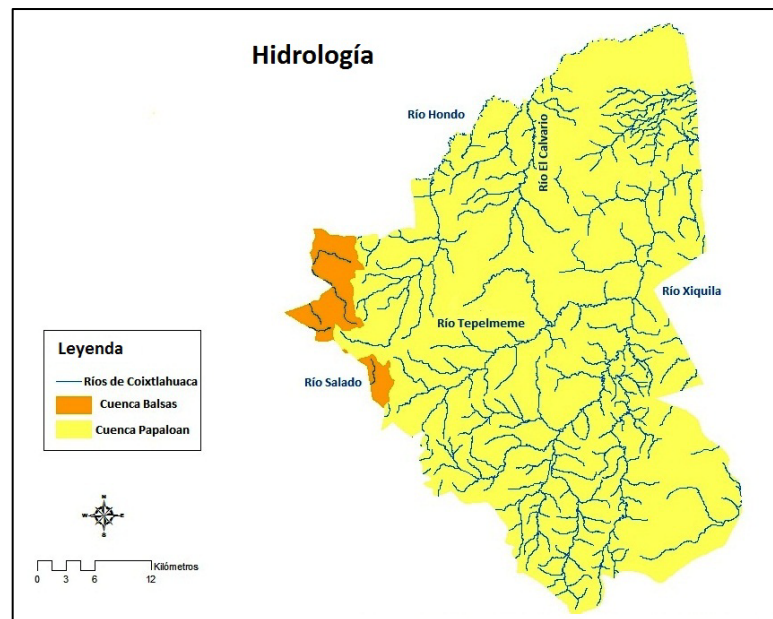


Fig. III.5 Mapa hidrológico del distrito de Coixtlahuaca (UNAM, 2002)

En la parte norte de Coixtlahuaca, en los distritos de Concepción Buenavista y Tepelmeme Villa de Morelos, los ríos han escavado profundos cañones; este aspecto queda reflejado en la toponimia con nombres como Río Hondo.

Como muestra de la dimensión del problema de la erosión en Coixtlahuaca, la población local afirma que en la estación de lluvias, entre junio y octubre, algunos ríos se vuelven rojos por la cantidad de tierra roja que transportan.

La Organización Mundial de la Salud ha establecido un estándar internacional de 150 litros al día por persona para cubrir las necesidades básicas. En la Mixteca, según Altieri et al. (2006), muchas personas sobreviven con solo 7 litros al día. La escasez de agua caracteriza a esta región, y la población se suministra de este recurso fundamentalmente a través de pozos

por la inexistencia apenas de presas de contención de agua. Por esta razón, las actuaciones en este distrito han de estar orientadas a la infiltración de agua o bien a recolección de agua de lluvia para uso de la población.

Geomorfología y suelos

Para conocer la historia geológica de esta región se ha utilizado la Tesis doctoral de Díaz (2009). En el Cretácico se constituyeron las formaciones de Teposcolula y de Tamazulapam. Ambas están formadas por rocas calcáreas y presentan cavidades de disolución. Ocupan actualmente la parte este y sureste del distrito respectivamente.

En el Terciario se formaron el resto de las formaciones geológicas; y así, en el sur se encuentra la formación de Yanhuatlán. Esta formación está constituida en su mayor parte por areniscas y limonitas, cementadas con carbonato de calcio pero aún así muy inconexas.

En toda la zona central se encuentran los Depósitos de Teotongo, constituidos fundamentalmente por areniscas con influencia volcánica e intercalaciones de tobas.

La parte noroeste de Coixtlahuaca está recorrida por las Andesitas Cañada María.

Por último, aparecen algunos manchones de Andesita de Yucudaac y Toba de Llano de Lobos por la zona de San Miguel Tulancingo.

Es muy común que la formación de Yanhuatlán, así como la de los Depósitos de Teotongo, tenga encima una costra de caliche (mezcla de carbonato cálcico y arcilla) de unos 20 a 60 cm de profundidad cuya procedencia aún no es muy clara. Este caliche ha aflorado en gran parte del distrito por la pérdida del suelo que se encontraba por encima de él tras las intensas y estacionales precipitaciones que se dan en Coixtlahuaca al no existir vegetación que fijase el suelo. Este material es muy fácilmente disgregable, hecho corroborado al aflorar incluso el material que se encuentra debajo de él: la formación de Yanhuatlán o los Depósitos de Teotongo. Este material que aparece es muy inconexo por lo que es fácilmente arrastrado por las lluvias, suponiendo un grave problema de erosión para el distrito.

En cuanto a suelos, Coixtlahuaca destaca por presentar una compleja variabilidad y gran diversidad espacial, intercalándose continuamente (figura III.6). Los suelos, a nivel general para la Mixteca Norte se puede decir que son de naturaleza básica, con pH comprendidos

entre 6,8 y 8,7, en general carecen de materia orgánica y son deficientes en nutrientes inorgánicos. Presentan una textura media, son someros y sujetos a erosión (Altieri et al., 2006).

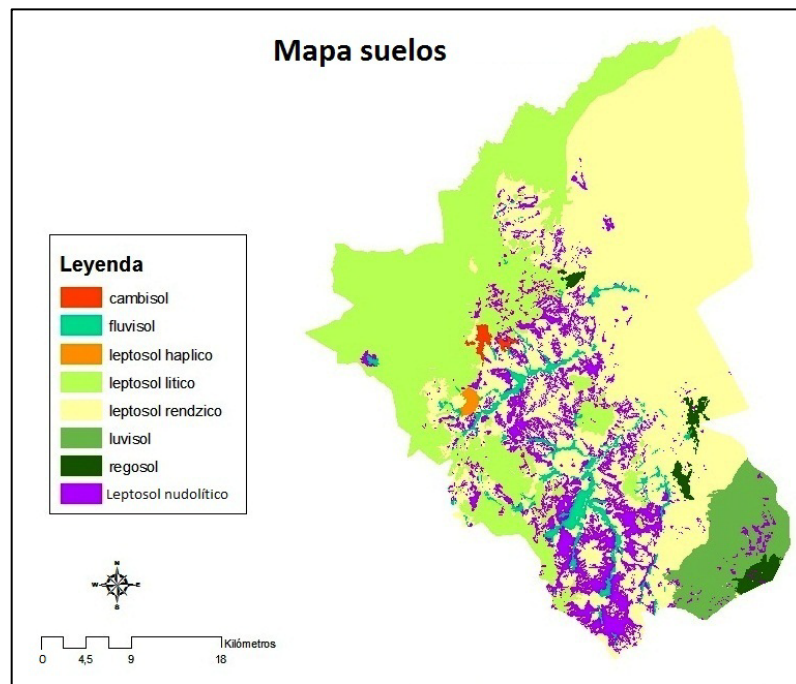


Fig. III.6 Mapa de suelos del distrito de Coixtlahuaca (Serra, 2010)

La información acerca de los suelos de Coixtlahuaca según la clasificación FAO-UNESCO 2006 proviene del Proyecto Fin de carrera de Serra Varela (2010), dentro del programa en que se enmarca este proyecto. Se incluye una breve descripción de cada uno de ellos:

Fluvisol: Suelos formados por materiales arrastrados por los ríos. Su capa superficial es clara, delgada y con cantidades variables de materia orgánica y nutrientes.

Regosol: Suelos sin estructura y de textura variable, muy parecidos a la roca madre. Son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados, principalmente comunes en zonas áridas y en regiones montañosas. El desarrollo del perfil es mínimo como consecuencia de edad (joven) y lenta formación del suelo debido a la aridez.

Leptosol Rendzico: suelos con una limitación de profundidad por roca continua dentro de los 25 cm de la superficie del suelo y que tienen un horizonte mólico que contiene o está inmediatamente por encima de material calcáreo o roca calcárea que contiene 40 por ciento o más de carbonato de calcio equivalente

Leptosol Lítico: Leptosol, luego son suelos con una limitación de profundidad por roca continua dentro de los 25 cm de la superficie del suelo. Y para este tipo de leptosoles, con una limitación de profundidad por roca continua dentro de los 10 cm de la superficie del suelo.

Leptosol Háptico: Cuando no cumple ninguna de las condiciones del resto de leptosoles.

Cambisol: Suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. La capa superficial puede ser oscura, con más de 25 cm de espesor pero pobre en nutrientes y en ocasiones inexistente.

Luvisol: Se definen como suelos que tienen un horizonte árgico con una saturación de bases mayor del 50%.

Leptosol Nudolítico: Afloramiento del material parental. La aparición de este suelo muestra la gravedad de la situación de erosión en Coixtlahuaca, donde ya se ha lavado por las precipitaciones todo el suelo que se encontraba por encima. Además, no sólo se ha ido aguas abajo una gran cantidad de suelo, con sus consecuentes pérdidas económicas y de recursos, sino que el material que aparece es mucho más erosionable que el suelo que existía anteriormente por encima.

Un material que aparece al perderse el suelo que se encuentra encima es el caliche. Este material está formado por carbonato cálcico al 90% aproximadamente. Es fácilmente disgregable y muy susceptible al esfuerzo cortante; es por lo tanto un material muy susceptible a ser erosionado. Según la historia geológica de este distrito, por debajo del caliche se encuentra un material volcánico que ha llegado a aflorar también en Coixtlahuaca. Dicho material es a su vez altamente erosionable debido a lo inherente del material que lo conforma.

El distrito de Coixtlahuaca está dominado por los leptosoles; al este y centro mayoritariamente se dan los leptosoles rendzicos y al oeste los leptosoles líticos. Estos son el tipo de suelos dentro del distrito menos erosionables dentro de su importante factor de erosionabilidad, tal y como se explica más adelante en el apartado de pérdidas de suelo.

Los fluvisoles, debido a su procedencia, se encuentran en las proximidades de los ríos y mayoritariamente se encuentra sobre ellos el terreno agrícola. Los regosoles y los cambisoles

se encuentran en enclaves aislados tal y como muestra la figura III.6. Estos tipos de suelos presentan el mismo grado de erosionabilidad que los fluvisoles, un valor intermedio dentro del distrito aunque alto, según el factor K de erosionabilidad del modelo RUSLE.

Al sureste del distrito se encuentran los luvisoles, que por el intenso color rojo de estos suelos, la población local conoce esta parte del municipio de San Juan Bautista Coixtlahuaca como Tierras Rojas. Su valor de erosionabilidad es alto aunque no suele presentar problemas de erosión esa zona por estar bien cubierta de vegetación.

La naturaleza volcánica y metamórfica de suelos existentes en Coixtlahuaca condiciona que exista para la población, que tiene en los acuíferos su fuente de agua, poca humedad potencial subterránea acumulada (Altieri et al., 2006).

Topografía

Coixtlahuaca está situada en el llamado Nudo Mixteco, en él confluyen tres de los más importantes sistemas montañosos mexicanos que se comentaron anteriormente. Por esta razón este distrito se caracteriza por lo abrupto de sus paisajes, en toda su extensión hay un desnivel máximo de 2.118 metros y pendientes muy variables que llegan hasta los 75 grados (Fig. III.7). Este escabroso paisaje ha condicionado la variedad de ecosistemas que aquí se encuentran y la vida de la población a lo largo de la historia. La construcción de terrazas en siglos anteriores para cultivar es sin duda una práctica obligada para la agricultura ante estas pronunciadas pendientes.

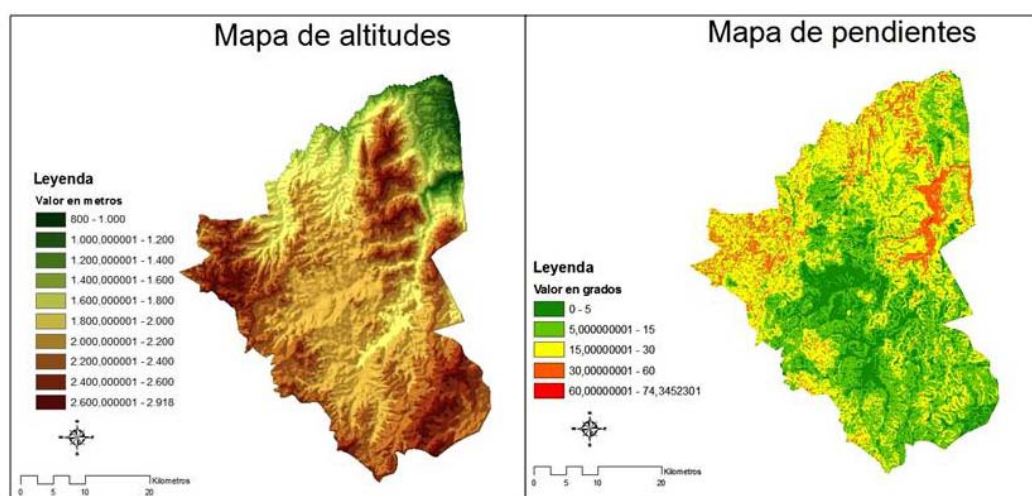


Fig. III.7 Mapa de altitudes y pendientes de Coixtlahuaca (UNAM, 2002)

Coixtlahuaca se trata de una región singular dentro del estado de Oaxaca. En ella se dan las condiciones para la existencia de una gran variedad de hábitats debido a su situación en la cuenca alta de los ríos Papaloapan y Balsas, las distintas orientaciones de las cadenas montañosas que en ella se presentan y las tan variables altitudes.

Las orientaciones determinan la vegetación que se da en una ladera u otra por los distintos grados de insolación y a su vez por la humedad proveniente del Golfo de México. En Coixtlahuaca se dan numerosamente en todas sus posibilidades, aunque se puede observar una ligera mayoría de orientaciones norte, noreste, sur y sureste.

Las altas pendientes que existen en Coixtlahuaca influyen en las tasas de erosión hídrica del distrito, al ser más fácilmente arrastrables los suelos por las precipitaciones. Se demuestra la influencia de la pendiente en los niveles de erosión hídrica al estar incluido en el modelo RUSLE un factor topográfico.

La elevación máxima del distrito es de 2.918 metros y se localiza en el municipio de San Francisco Teopam, al este del distrito, sin ningún nombre asociado conocido. En el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos también existen montes importantes como son el Cerro Verde o el Cerro el Castillo de 2.887 y 2.850 metros respectivamente. En este municipio es donde se presentan las mayores pendientes, en el mapa de altitudes (fig. III.7) se puede ver que se pasa en pocos kilómetros de altitudes superiores a los 2.800 a niveles menores de 1.000 metros. La parte central de Coixtlahuaca, donde se localizan las mayores poblaciones y la mayoría de los cultivos agrícolas, presenta niveles bastante estables de altura entre los 2.000 y los 2.200 metros.

Meteorología

Los vientos alisios son la principal fuente de humedad en la región. La vegetación queda sin duda determinada por la influencia de estos vientos, entre otros factores como la altitud. Los vientos alisios se hacen notar entre mayo y octubre en estas latitudes y soplan desde el NE y E recogiendo la humedad del Golfo de México. El resto de vientos que existen el resto del año no aportan apenas humedad, por ello se presenta en la región de estudio una marcada estacionalidad (Leyva, 2009).

El clima es un importante factor condicionante de la vegetación, de la fauna y de los asentamientos humanos. A su vez, tiene importancia por determinar la formación de los suelos,

a partir del material paretal. La información sobre el clima se ha obtenido del mapa de climas de Köppen del estado de Oaxaca (UNAM, 2002).

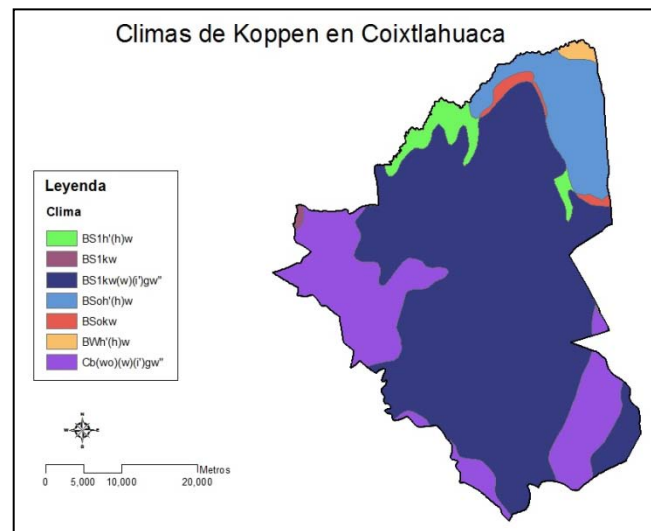


Fig. III.8 Mapa de climas de Köppen de Coixtlahuaca. (UNAM, 2002)

Para describir el clima, combinación de temperatura y humedad, se usa en este trabajo la clasificación de Köppen. Según esta clasificación, en Coixtlahuaca se dan siete tipos de climas, uno clasificado como templado lluvioso y los otros seis como climas secos con sus variaciones (Inzunza, 2005).

Son principalmente las zonas más elevadas del sur y del este las que se clasifican como templado lluvioso (Clima C); tanto las del este en los municipios de San Francisco Teopam y Tlacotepec Plumas, como los cerros del suroeste de San Juan Bautista Coixtlahuaca. La altitud de esta área es la causa de que se de el clima más templado. Los vientos alisios al chocar con estas montañas son los que provocan que haya más humedad en estas zonas que en el resto de Coixtlahuaca. El resto del distrito se clasifica como árido con variaciones. La parte norte es más árida y más cálida que el resto, debido a que se encuentra a mucha menos altitud.

Los climas que existen en Coixtlahuaca según la clasificación de Koopen se desarrollan en profundidad en el Anexo 3.

En cuanto a las temperaturas, los valores extremos que se registran son importantes por condicionar las especies que componen la cubierta vegetal. Y así, las temperaturas máximas anuales, para Coixtlahuaca oscilan entre 40°C en los puntos más septentrionales y los 28°C en los más meridionales y elevados. En cuanto a las temperaturas mínimas anuales,

éstas oscilan entre 6 y -2°C entre los mismos puntos que las temperaturas máximas (Leyva, 2009).

Las precipitaciones acontecidas en Coixtlahuaca son de carácter intenso, por lo que, si la cubierta vegetal es inexistente o escasa, como ocurre en numerosos puntos de este distrito, éstas acarrearán una importante pérdida de suelo. Además de los problemas que conlleva la pérdida de suelo, la deforestación también provoca que no se infiltre la escasa agua que cae en esta región en los acuíferos, principal fuente de agua de las comunidades de la región.

Según la información extraída del mapa de precipitaciones del estado de Oaxaca (UNAM, 2002), las precipitaciones medias anuales en Coixtlahuaca varían en dos sentidos: en la altura y en la orientación. Sobre las partes más altas caen mayores precipitaciones, así como en sus laderas este, por influencia de los alisios.

La distribución de las lluvias es errática dentro de la época húmeda, entre Junio y Octubre, con un periodo de sequía de entre 20 y 40 días entre Julio y Agosto (Altieri et al., 2006). Las sumas de agua caída varían en la región entre 600-700 mm y 400-500 mm según el mapa adjunto que se presenta en el Anexo 6.

Flora

La vegetación en Coixtlahuaca presenta muchas variaciones debido a la diversidad de suelos, orientaciones y altitudes. Hay que destacar el importante número de endemismos de especies vegetales que se pretende conservar en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán Cuicatlán.

Desde el punto de vista florístico, Rzedowski (1973-1978) conceptualizó la zona como provincia florística de Tehuacán Cuicatlán, perteneciente a la región fitogeográfica xerofítica Mexicana (Cortés, 2007). Según la clasificación de Rzedowski, los tipos de vegetación presentes en esta región son:

En el norte del distrito, coincidiendo con los climas más cálidos del distrito se presenta la Selva baja caducifolia. Esta selva está constituido por árboles de hoja caduca de no mucha altura con especies como *Bursera* sp. o *Leucaena* sp.

A veces asociado con la Selva baja caducifolia, y en las partes más áridas del distrito, se da el Matorral xerófilo. En este grupo de vegetación se encuentran especies como las

palmas (*Brahea dulcis*), la pata de elefante (*Beaucarnea gracilis*) y los viejitos, cactus columnares que alcanzan gran altura (*Cephalocereus columna-trajani*). Clasificado también como Matorral xerófilo por Rzedowski, en la parte central del distrito se encuentra un tipo de vegetación de carácter espinoso. Se suele encontrar cerca de las riberas de los ríos y también en cerros que han escapado de las roturaciones. Se compone de especies que como defensa de la sequia, han desarrollado mayoritariamente espinas. El Chaparral es un tipo de vegetación también denominado por Rzedowski como Matorral xerófilo. El Chaparral lo integran el conjunto de arbustos de hoja perenne que se desarrolla en zonas con algo más de humedad.

En las partes más templadas y húmedas, esto es, las zonas más elevadas, se presentan extensos bosques de especies del género *Quercus* que varían en cuanto a su carácter perenne según la altitud. Presenta un sotobosque rico en especies como el madroño (*Arbutus xalapensis*).

El enebro (*Juniperus flaccida*) se presenta en Coixtlahuaca en la parte más meridional formando bosques bastante abiertos y monoespecíficos, comúnmente sobre suelos bastante pedregosos.

Fauna

La alta Mixteca destaca en cuanto a fauna, al igual que la flora, por el elevado número de endemismos y la diversidad de especies que viven en ella. La alta variabilidad es debida al abanico de hábitats que se presentan por la multitud de orientaciones, pendientes, suelos, altitudes que cuenta este distrito.

Entre aquellas especies a destacar por su importancia económica a lo largo de la historia se encuentran la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*), de la familia de coccidae, y parásito del nopal (*Opuntia sp.*). De igual modo, por importancia económica para la población local desde que se introdujo en el siglo XV por los conquistadores españoles, se destaca a la cabra doméstica (*Capra hircus*). El ganado caprino, además de ser un importante recurso para la población, ha sido uno de los factores directos de la deforestación de la región Mixteca a causa de la sobreexplotación y la gestión irracional de la ganadería.

Entre las especies de aves que se encuentran en esta región se citan la guacamaya verde, el correcaminos, y varias especies de colibríes, importantes en la polinización de numerosas cactáceas.

Por otra parte, la Mixteca alta presenta la segunda mayor biodiversidad de mamíferos de México, con 42 especies registradas. Llama la atención el número de especies de murciélagos, 36; imprescindibles para la polinización de numerosas cactáceas y otras especies de la región. Algunas otras especies de mamíferos que existen en Coixtlahuaca, son pumas, venados de cola blanca, mapaches, coyotes, zorros, conejos y tlacuaches (Leyva, 2009).

Entre los reptiles se presentan especies como la víbora de cascabel, coralillos, iguanas verdes y negras, y uno de los dos saurios venenosos del mundo, el llamado Lagarto mexicano (*Heloderma horridum*).

También son importantes los insectos, tanto por la diversidad existente en la región, como por constituir una fuente de alimentación para la población (Leyva, 2009).

1.3. SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA

Población

La población de Coixtlahuaca es exclusivamente rural ya que no hay ninguna localidad en toda su extensión que supere los 5.000 habitantes (Leyva, 2009). Los pueblos y comunidades son de tamaño variable, con calles no asfaltadas en la gran mayoría de los casos. Las construcciones cambian según la zona y los recursos que dispongan los habitantes en las cercanías. A lo largo de Coixtlahuaca se ven casas construidas con distintos materiales según el nivel económico del pueblo y de los recursos de los alrededores. Así, se pueden ver casas construidas de madera de la especie que más abunde por esa zona, de adobe, de ladrillo, con chapas metálicas o de cantera elaborada a partir del caliche que se comenta en el apartado de suelos (ver figura III.9).

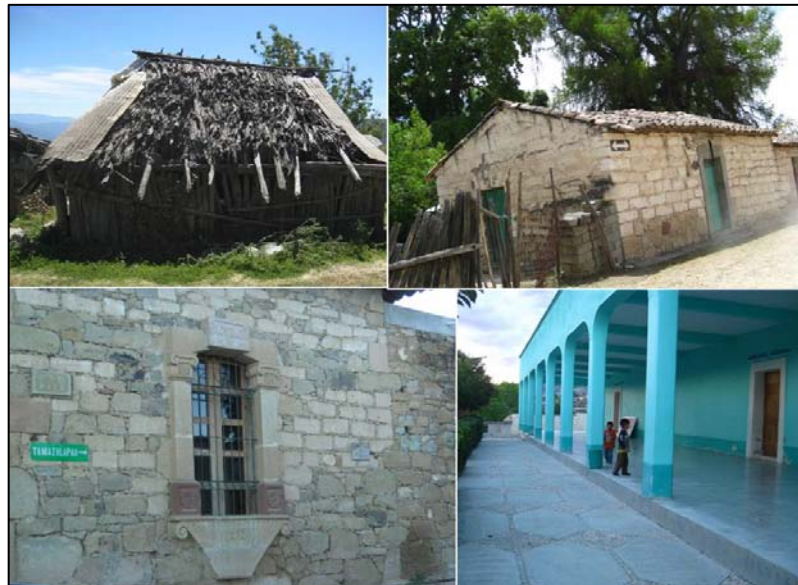


Fig. III.9 Tipos de construcciones en Coixtlahuaca

Las condiciones de salud, educación, marginalidad de la población e infraestructura básica varían bastante, tanto entre municipios como dentro de un mismo municipio. La Dirección General de Población de Oaxaca (1990) clasifica a 11 de los 13 municipios de Coixtlahuaca como con alto índice de marginación.

Los grupos étnicos que existen principalmente en Coixtlahuaca son los Mixtecos y los Chochotecas en el sur del distrito. Muchas de las personas que pertenecen a estas etnias se comunican en lenguas propias de su grupo cultural, conociendo el castellano a día de hoy prácticamente toda la población. Hace varias décadas, como se comentaba en la reseña

histórica, el idioma era una barrera para la emigración ya que mucha gente sólo hablaba la lengua indígena de su etnia. En Coixtlahuaca, según el último censo del INEGI (2005), el 5% de la población habla lengua indígena, tal y como se desglosa en la tabla III.4. Según esta misma fuente, sólo una persona de entre los entrevistados en el distrito habla lengua indígena y no sabe comunicarse en castellano. De la tabla se extrae que la lengua indígena más hablada es el Chocho, de la etnia de los Chochotecas.

Tabla III.4 Lenguas indígenas habladas en Coixtlahuaca (INEGI, 2005)

Lengua indígena	Total	Hombres	Mujeres
Chocho	333	151	182
Cuicateco	1	0	1
Ixcateco	2	2	0
Lenguas mixtecas	15	7	8
Lenguas zapotecas	1	0	1
Mazateco	1	0	1
Náhuatl	1	1	0
No especificado	82	34	48
Total	436	195	241

El analfabetismo aún constituye un problema en este distrito. Más del 11 % de la población mayor de los 15 años de Coixtlahuaca no sabe leer ni escribir. El analfabetismo es más acusado en la población más anciana y en las mujeres según refleja la tabla III.5.

Tabla III.5 Analfabetismo en Coixtlahuaca desglosado por edades (INEGI, 2005)

	Analfabetismo	Hombres	Mujeres
03 Coixtlahuaca	1014	311	703
6 años	136	71	65
7 años	32	21	11
8 años	8	5	3
9 años	5	2	3
6 - 9 años	181	99	82
10 años	0	0	0
11 años	1	0	1
12 años	1	1	0
13 años	0	0	0
14 años	2	0	2
10 - 14 años	4	1	3
15 - 19 años	11	5	6
20 - 24 años	10	4	6
25 - 29 años	21	13	8
30 - 34 años	14	7	7
35 - 39 años	20	10	10
40 - 44 años	24	7	17
45 - 49 años	25	11	14
50 - 54 años	28	7	21
55 - 59 años	43	9	34
60 - 64 años	59	14	45
65 años y más	574	124	450

El dato de la población del distrito de Coixtlahuaca más reciente de que se dispone es del 2005. La periodicidad de los censos en México es cada cinco años y el nuevo censo del INEGI del 2010 aun no está disponible a la fecha de ejecución de este proyecto. Según esta

información, el número de habitantes de Coixtlahuaca es de 8.949 personas, distribuidas en 4.263 hombres y 4.777 mujeres. La densidad de población en Coixtlahuaca es de 0,053 personas/ hectárea, lo que indica que el distrito está escasamente poblado.

A continuación se muestra una figura con la información demográfica de Coixtlahuaca desde el año 1990, por ser el primer año de este estudio, hasta el último de ellos en el 2005 para cada uno de los municipios.

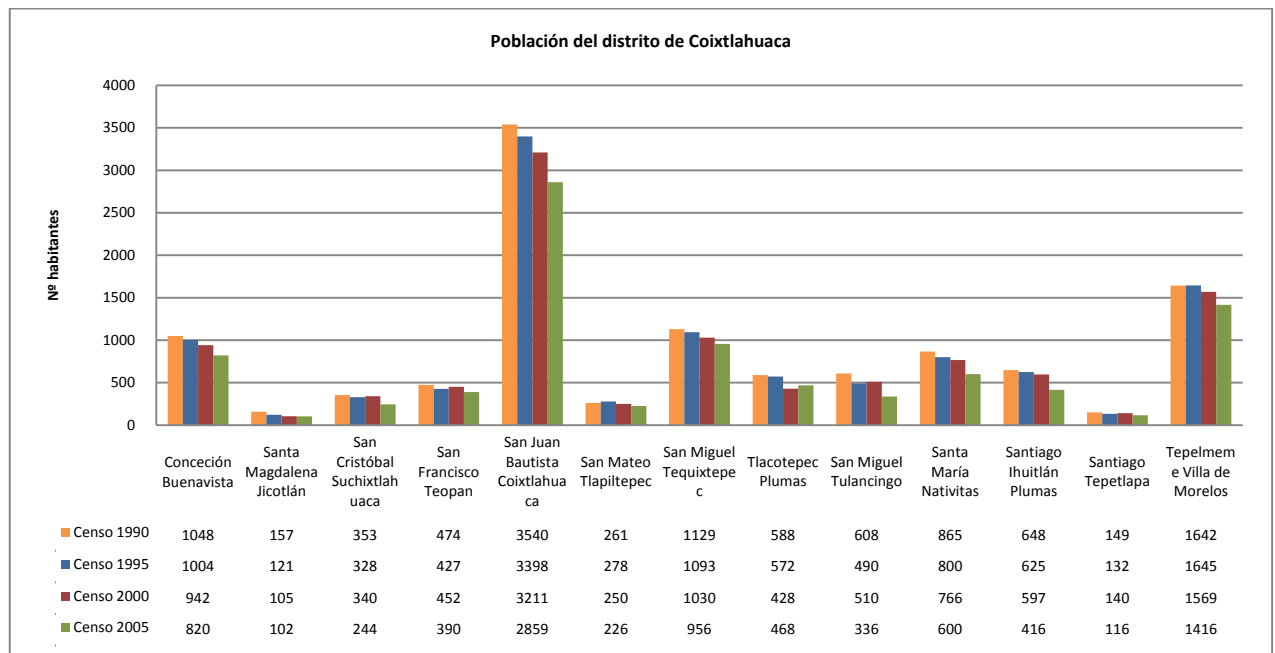


Fig. III.10 Población del distrito de Coixtlahuaca desglosada por municipios para los años 1990, 1995, 2000 y 2005.

(INEGI, 2005)

No se cuenta con información de cómo se encuentra distribuida la población en cada municipio, sino que únicamente se sabe el número de habitantes totales en toda su extensión. Bajo esta cifra se incluye por tanto: la población de la cabecera municipal y de todas las agencias municipales que dependen de él.

La figura III.10 muestra que el número de habitantes ha descendido en todos los municipios entre el primer censo en 1990 y el último en el 2005. La población ha pasado de 11.462 habitantes a 8.949 en 15 años. La emigración que sufre el país hacia ciudades más grandes o hacia Estados Unidos fundamentalmente es la principal causa de este descenso (Berumen, 2009).

El factor más importante que explica la emigración, es que los campesinos no pueden llevar una vida digna en esta región. La sociedad mixteca vive fundamentalmente de la

agricultura, usando para su propio consumo lo cosechado y dependiendo totalmente de la distribución y cantidad de lluvias de ese año para obtener cosechas suficientes. Lo recolectado apenas es suficiente para el autoabastecimiento. Muchas comunidades no tienen servicios mínimos como luz, agua o saneamiento, y ante una vida mejor a unos pocos kilómetros de Coixtlahuaca, migran, de manera temporal o permanentemente, ellos o sus hijos para enviar dinero a sus padres. A día de hoy una de las mayores fuentes de ingresos de este distrito son los ingresos por la emigración (Leyva, 2006).

Históricamente, han existido dos barreras que mantenían a los mixtecos en su región de procedencia: las comunicaciones y el idioma. La mejora de las comunicaciones con México y el resto del estado de Oaxaca han ayudado al aumento de la emigración (Senders, 1975). La Mixteca no posee buenas comunicaciones, pero, aunque no sea fácil el transporte a través de ella, una vez fuera es relativamente fácil llegar a ciudades grandes, aspecto que antes no era así. El idioma, como se comenta en párrafos anteriores, ya no es actualmente una barrera para la emigración; prácticamente toda la población se puede comunicar en castellano aunque no sea éste su lengua materna.

Agricultura

Varias fuentes indican que la topografía y los tipos de suelos de Coixtlahuaca hacen de este lugar un sitio poco productivo agrícola (Senders, 1975; Berumen, 2009). A pesar de ello, la agricultura es el principal sector económico del distrito junto con la ganadería y la emigración.

La Mixteca alta es una región agrícola minifundista, con una superficie media de cultivo de dos hectáreas; carácter debido a la escabrosidad del terreno, a la pedregosidad y a la baja fertilidad de muchas laderas. Esta baja fertilidad es debida a las características de los suelos, a la sucesión de generaciones que han trabajado la tierra y a la erosión. Debido al bajo rendimiento de los terrenos, la mayoría de las familias obtienen maíz, alimento básico de la dieta mexicana, para sólo dos o tres meses, el resto lo compran en la Compañía Nacional de Subsistencias Populares o mercados locales. La cuantía de las lluvias estacionales supone cambios importantes en las producciones anuales. Además, si el periodo de sequía que ocurre dentro de la estación húmeda coincide con la época de floración y producción de grano, se producen importantes pérdidas en la cosecha (Altieri et al., 2006).

Las especies que se cultivan son el trigo, maíz, cebada y frijol fundamentalmente (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, 2007), todas ellas de secano. No se suministra fertilizantes por los escasos recursos económicos de la población y por su demostrada ineficiencia ante las características del suelo y la humedad. En las pocas hectáreas que existen con agricultura de riego se siembra alfalfa y hortalizas para el propio consumo de sus propietarios.

En la época prehispánica la agricultura permitía producir grano suficiente para alimentar incluso a quienes se dedicaban a otras tareas. Con la llegada de los españoles, que descubrieron las posibilidades económicas de esta región, se introdujeron nuevos cultivos como el trigo y la cebada. Y también se perdieron poco a poco tradiciones agrícolas como la construcción y sujeción de terrazas con piedras, arbustos, árboles frutales y maguey (*Agave* sp.). Con su construcción se conseguía ampliar el terreno cultivable y la infiltración de agua en el suelo, y disminuir la erosión.

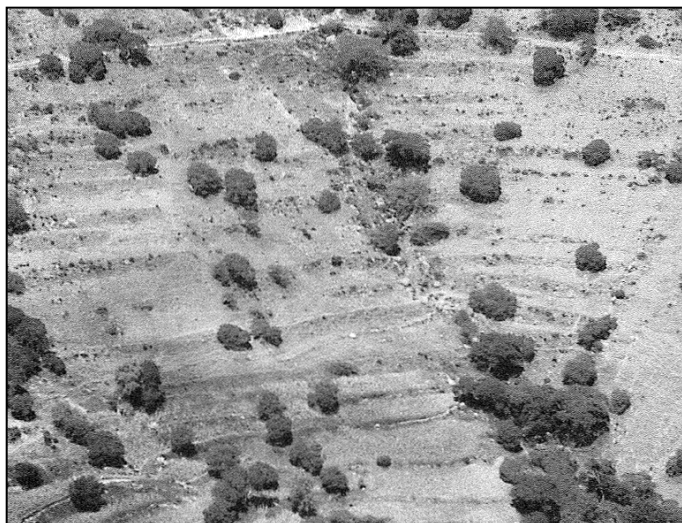


Fig. III.11 Vestigios de terrazas prehispánicas en la Mixteca (Altieri et al., 2006)

En la mayoría del distrito los terrenos son trabajados con tracción animal y medios manuales, exceptuando algunas localidades que son cabeza de municipio y se encuentran más comunicadas con el exterior que usan medios tecnificados. En estos casos suelen existir uno o dos tractores en todo el pueblo y se alquilan al resto de habitantes. Ocuparse de los terrenos agrícolas y de los animales de labranza requiere de mano de obra, que cada vez se encuentra menos disponible por la emigración de la población, especialmente de la joven.



Fig. III.12 Habitante de Santa Catarina Ocotlán trillando con una pareja de burros.

El sistema de roza, tumba y quema es muy practicada en América debido a la escasez de recursos de la población local; en Coixtlahuaca se ha llevado a cabo de manera continuada con las visibles consecuencias de deforestación a día de hoy (Berumen, 2009). El sistema de roza, tumba y quema consiste en aumentar la superficie agrícola a base de talar superficie forestal, posteriormente quemarla, consiguiendo un aumento de la fertilidad de esa tierra por la cantidad de ceniza depositada en los suelos. Este aumento de la fertilidad proporciona altas producciones durante un par de años, pero después decrece notablemente. Ante el descenso de productividad, se vuelven a talar y quemar nuevas hectáreas de bosque para conseguir más terrenos donde cultivar, iniciándose un nuevo ciclo. El estado actual de deforestación y susceptibilidad a la erosión de Coixtlahuaca se explica en parte por la práctica de este sistema, que provocó que se vieran expuestas a la lluvia y al arrastre del suelo muchas hectáreas del distrito.

La emigración y la imposición de las tradiciones españolas han supuesto que se dejen poco a poco de llevar a cabo los trabajos de conservación de las terrazas (Ponce et al., 1997). El abandono del sistema de terrazas ha provocado que las precipitaciones se lleven en suspensión toneladas de suelo.

Ganadería

La ganadería es a su vez de los más importantes sectores del distrito. Los habitantes disponen de ganado que pastorea por el distrito, como rebaños de cabras y ovejas, y también ganado bovino, aunque más escaso. El tipo de explotación es extensivo.

El resto del ganado que existe en Coixtlahuaca se destina al trabajo de las tierras agrícolas y el autoabastecimiento de la familia. Es común que en cada casa se encuentren varios ejemplares de animales de corral como pavos, gallinas y cerdos.

Cada propietario posee un número determinado de animales que pastorean libremente por los terrenos comunales del municipio donde habitan. Antiguamente, también existía en cada localidad ganado comunal. El ganado comunal tenía la misma función que tiene ahora a nivel individual, constituir una fuente de ahorro. Cuando el pueblo celebraba una festividad religiosa, o en época de hambrunas o epidemias, se vendían el número de cabezas de ganado suficientes para conseguir el dinero. Hasta hace relativamente poco, mediados del siglo XX, existía el último rebaño de ganado comunal en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos (Mendoza, 2002).



Fig. III.13 Habitantes de Concepción Buenavista con su rebaño de ovejas (Fuente: María del Riego Ceña)

En Coixtlahuaca se han practicado y se practican aún, dos tipos de trashumancia: la de gran recorrido y la transterminante, dentro del distrito. La transterminante se da debido a que los pastizales de los valles y partes bajas del distrito se caracterizan por una pobre condición pascícola durante el invierno, la primavera y en ocasiones principios del verano. El pastor se ve obligado a emprender la trashumancia hacia las partes medias y de alta montaña, donde las mejores condiciones térmicas y de humedad aseguran una diversa y mayor oferta alimenticia. La trashumancia de gran recorrido se daba entre la Mixteca alta y la Mixteca de la costa, más cálida en invierno, con rebaños de hasta 15.000 cabezas buscando mejores pastos (Franco et al., 2005).

La gestión incorrecta de la ganadería caprina en la historia ha sido una causa de la deforestación de la Región Mixteca, tanto debido al elevado número de cabezas que ha llegado a pastorear sin control alguno y por su carácter ramoneador, como a que parte del terreno forestal se roturó para fines ganaderos.

Aprovechamientos forestales

El aprovechamiento forestal maderable comercial no se da apenas en la región Mixteca, por lo que la industria de transformación es prácticamente nula (Leyva, 2009). Los aprovechamientos forestales que se dan en Coixtlahuaca tienen fines energéticos, de construcción, medicinal, de construcción de herramientas y forrajero (Cortés, 2007).

A día de hoy, el aprovechamiento de leña para combustible es el más importante que se realiza de los bosques de Coixtlahuaca. El número de hogares que cocinan con leña es mayor que el que cocinan con gas, el segundo combustible más usado en el distrito como se muestra en la tabla III.6 (Leyva, 2009). La leña puede ser directamente usada como combustible, o indirectamente tras convertirla a carbón.

La población local recurre mayoritariamente a la leña como combustible, bien porque no llega el servicio de gas a su comunidad, o porque cuando llega, el precio es muy elevado para sus recursos económicos.

Tabla III.6 N° de hogares por municipio que utilizan gas, leña y carbón. (Leyva, 2009)

Municipio	Gas	Leña	Carbón
Concepción Buenavista	51	191	0
Santa Magdalena Jicotlán	4	29	0
San Cristóbal Suchixtlahuaca	37	65	0
San Francisco Teopam	4	105	0
San Juan Bautista Coixtlahuaca	122	724	0
San Mateo Tlapiltepec	1	68	0
San Miguel Tequixtepec	24	252	0
Tlacotepec Plumas	20	137	0
San Miguel Tulancingo	7	133	0
Santa María Nativitas	18	191	0
Santiago Ihuitlán Plumas	43	115	2
Santiago Tepetlapa	3	45	0
Tepelmeme Villa de Morelos	97	316	0

Los habitantes de los municipios de la Reserva no tienen limitación especial. Pueden realizar las actividades económicas que habían venido realizando, siempre y cuando no impliquen un deterioro para la zona.

Según se comentó en la reseña histórica, la población hace siglos era varias veces la actual. Al no existir concienciación ambiental ni ordenamiento de los recursos, la extracción de madera con los fines anteriormente citados para toda la población fue muy intensa. Las consecuencias a día de hoy son evidentes en la cubierta vegetal de Coixtlahuaca.



Fig. III.14 Extracción de leña (Fuente: Carlos Jiménez)

En la Ley Forestal de México, emitida en 1986, quedó reflejado el derecho de los dueños de los bosques para obtener permisos de aprovechamiento de la madera. Este derecho se hace efectivo siempre que exista un Plan de Manejo (equivalente a un Plan de Ordenación en España) que sirva como mecanismo que garantice el buen aprovechamiento de los recursos. La elaboración de Planes de Manejo es costosa y existen demasiados trámites burocráticos para su aprobación. En los casos en que hayan sido elaborados, mayoritariamente sirven más como un requisito para obtener el permiso de aprovechamiento que como instrumento que guíe la adecuada gestión. Y así, a pesar de esta directiva, la realidad demuestra que los bosques siguen siendo explotados de manera inadecuada, poniendo en riesgo la permanencia y estabilidad de los ecosistemas forestales (Cortés, 2007).

El carácter social de las propiedades de los bosques en una importante parte de México, hizo que se reconociera la propiedad forestal comunitaria como una estrategia para fomentar la conservación de los bosques, dado que la burocracia a la que estaban obligados a

seguir las comunidades era un concepto ajeno a ellos. La gestión comunitaria permite mejor vigilancia y cuidado del bosque, por desear ellos mismos conservar sus terrenos forestales para generaciones futuras y porque la población tiene derechos a largo plazo sobre el recurso, estando por tanto motivados a conservarlo (Cortés, 2007).

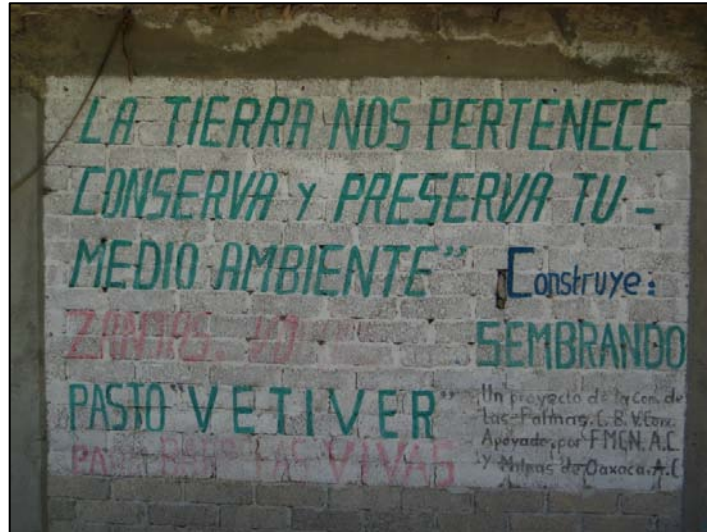


Fig. III.15 Mural de las autoridades en la comunidad de Las Palmas, Concepción Buenavista, concienciando ambientalmente a la población (Fuente: Carlos Jiménez).

Comercio

El comercio en la región, además de las tiendas locales y mercados, se restringe a la elaboración y venta de productos elaborados de palma (*Brahea dulcis*) y magueyes (*Agave* spp.) (Leyva, 2009). Es muy importante económicamente para la población la fabricación de artesanías de lana o de palma como los sombreros aunque a día de hoy, la mayoría de la palma es importada y ya no es tan común la recolección en el municipio para trabajarla. Este oficio se combina con otros, siendo relativamente común ver a mujeres cuidando de su rebaño mientras tejen un sombrero de palma.

1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DE SUELO Y TIPOS DE VEGETACIÓN

Se incluye en este apartado una descripción de los usos de suelo y tipos de vegetación del distrito de Coixtlahuaca por la importancia que presentan para este proyecto. Son precisamente los usos de suelos y tipos de vegetación que se describen a continuación los que se intentan clasificar en los mapas de vegetación y usos de los distintos años de estudio.

La clasificación de la variada vegetación de Coixtlahuaca que se sigue en este proyecto está basada en la realizada por Rzedowski (1978), la más usada en México. Algunos de los grupos de vegetación de Rzedowski se han subdividido en varios por ser muy amplios, según explica la figura III.16. A los tipos de vegetación de Coixtlahuaca, se le añaden usos que son el resultado del aprovechamiento de los recursos por la población, como la agricultura o pastizales.

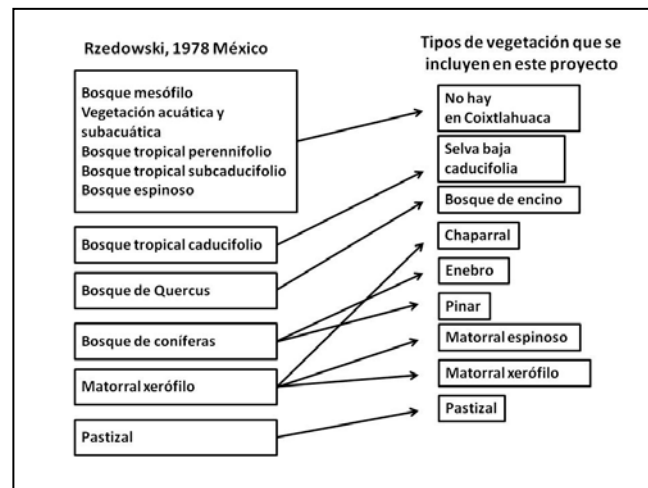


Fig. III.16 Similitudes de la clasificación usada y la de Rzedowski (1978)

Chaparral

Tipo de vegetación al que da nombre una especie del género *Quercus*, el llamado Encino chaparral (*Quercus frutex*). Esta especie, aunque da nombre al grupo no es la principal, sino que es una más de las que constituyen el conjunto sin ser ninguna especie la mayoritaria. Se trata de un conjunto de especies latifoliadas de carácter mayoritariamente perennifolio de porte arbustivo entre 1 y 3 metros de altura. Se encuentran los arbustos muy juntos unos con otros y ramificados desde la base, siendo el acceso a su través difícil. Rzedowski (1978) indica que tiene origen secundario y que se ve favorecido por los incendios. Este mismo autor se refiere al Chaparral como especialmente rico florísticamente.



Fig. III.17 Detalle de los ramillos de Socoya (*Pistacia mexicana*)



Fig. III.18 Panorámica del tipo de vegetación Chaparral

Un estrato herbáceo cubre parcialmente el suelo que se deja ver entre los arbustos. El estrato arbóreo puede estar representado en ocasiones con ejemplares aislados de especies arbóreas del género *Quercus*. Las especies más características que lo constituyen son las que aparecen en la Tabla III.7.

Tabla III.7 Especies más características del Chaparral

Nombre común	Nombre científico
Ramón	<i>Cercocarpus fothergilloides</i>
Socoya	<i>Pistacia mexicana</i> Kunth.
Chaparro	<i>Quercus frutex</i> Trel.
Zumaque	<i>Rhus standleyi</i> Barkl.
Anuaqué	<i>Comarostaphyllis polifolia</i> Kunth.
Cuachichic	<i>Garrya ovata</i> Benth.
Flor morada	<i>Lonchocarpus obovatus</i> Benth.

Nombre común	Nombre científico
Manzanita	Arctostaphylos pungens Kunth.
Manzanita	Amelanchier denticulata Kunth.
Encino	Quercus sp.

Franco et al. (2008) afirma que el ganado caprino tiene especial preferencia por especies que se encuentran incluidas en este grupo de vegetación: manzanita (*Amelanchier denticulata*) y zumaque (*Rhus standleyi*).

Bosque de Enebros

El Bosque de enebros se encuentra como un bosque abierto en el distrito, sin tangencia de copas en muchos casos (ver Figura III.19). Lo constituyen arbolillos de una sola especie de 3 a 5 metros, el allí llamado táscate o enebro (*Juniperus flaccida*). El sotobosque es inexistente o muy pobre, con algún arbusto de las especies de Chaparral o la llamada jarilla (*Dodonaea viscosa*). El estrato herbáceo no es abundante, y a veces casi nulo.

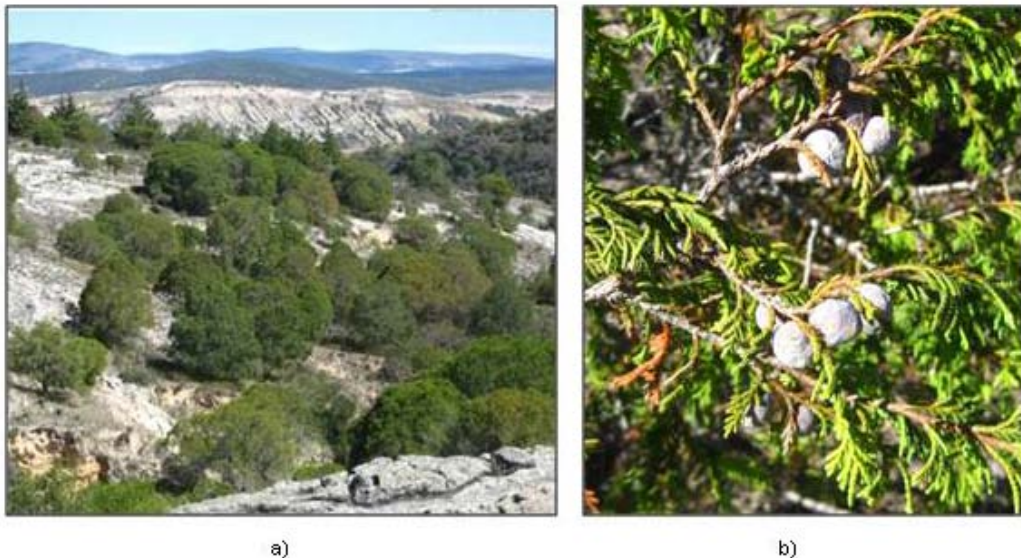


Fig. III.19 a) Panorámica del Bosque de enebros. b) Detalle de los ramillos y frutos del enebro (*Juniperus flaccida*)

Selva baja caducifolia

Bosques de regiones de clima cálido y dominado por especies arborescentes que pierden sus hojas en la época seca del año durante un tiempo variable, pero que por lo general oscila alrededor de seis meses.

La altura del dosel de copas es de 8 a 12 metros, y se mantiene muy uniforme; no obstante es bastante común un segundo piso de eminencias aisladas. Las copas son convexas

o planas y la anchura de la copa a menudo iguala o supera a la altura del árbol entero. Muchas especies presentan cortezas de colores llamativos y superficie brillante, exfoliándose continuamente sus partes externas, como es el caso de los copales (*Bursera sp.*)(figura III.21b). El follaje es verde claro y dominan las hojas compuestas. Los elementos espinosos en comunidades no perturbadas no son muy importantes. El sotobosque, no muy abundante, lo componen algunos ejemplares del Matorral xerófilo, hierbas y matorrales bajos.



Fig. III.20 Selva baja al final de la época húmeda (Téllez et al., 2008)

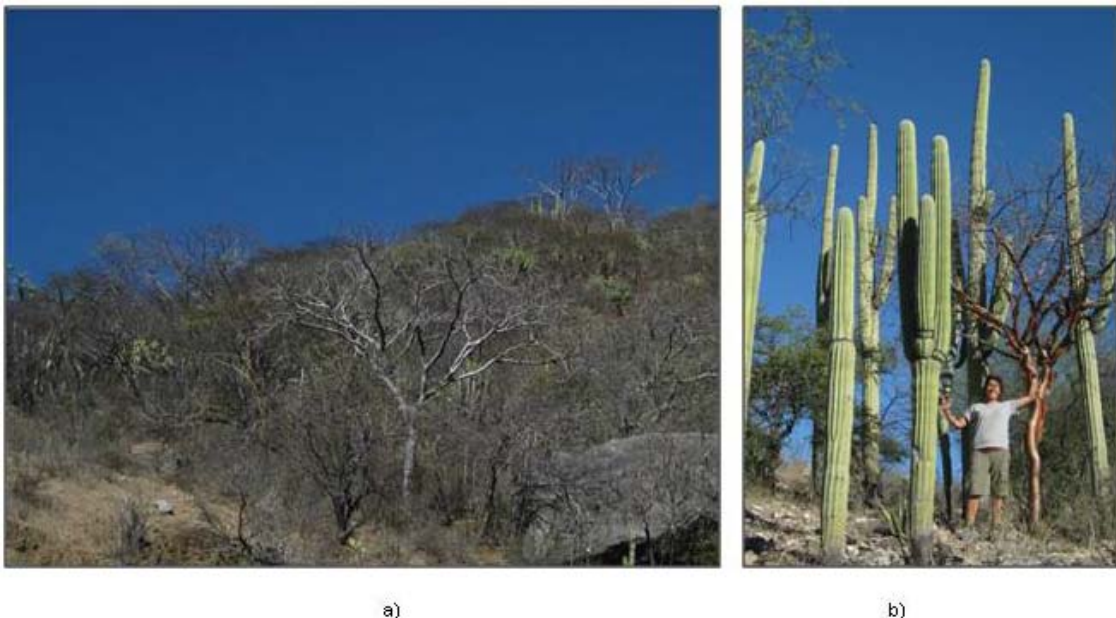


Fig. III.21 a) Panorámica de Selva baja caducifolia en época seca: todos los árboles presentan igual altura, al fondo se observa que sobresalen dos ejemplares. b) Ejemplar de copal con corteza exfoliable y color brillante. Matorral xerófilo de gran altura acompañante.

Tabla III.8 Especies más características de la Selva baja caducifolia

Nombre común	Nombre científico
Palo blanco	Conzattia multiflora Standl.
Cubata	Acacia macrantha Humb & Bompl.
Tepeguaje	Lysiloma acapulcense Kunth.
Guaje de venado	Acacia sp.
Tehuixtle	Acacia Bilimenkii
Cuajote rojo, amarillo	Bursera sp.
Copal, copalillo	
Guaje	Leucaena sp.
Cazahuate	Ipomoea murucoides Roem. & Schult.
Pochote	Ceiba aesculifolia Britten & Baker
Maguey, espadilla, ixtle	Agave sp.

Franco et al. (2008), afirma en su estudio sobre el ganado caprino en la Región Mixteca que los copales y los guajes (*Bursera* sp. y *Leucaena* sp.) se encuentran entre las preferencias alimenticias de este ganado.

Matorral espinoso

Constituyen un grupo de vegetación que Rzedowski clasifica dentro de Matorral xerófilo (figura III.16). Se compone de arbolillos de hasta cuatro metros, comúnmente ramificados desde el suelo o desde cerca del suelo, y en gran proporción, espinosos. Aparte de las espinas presentan otras adaptaciones a la xericidad como hojas pequeñas u hojas compuestas por foliolos o segmentadas (ver figura III.22). El porte de sus arbolillos es común con la Selva baja caducifolia: parte superior de la copa convexa o plana, y gran envergadura de las copas.



Fig. III.22 a) Espino blanco (*Acacia pennatula*) ramificado desde la base y de ancha copa. b) Detalles de hojas pinnadas y flores del Huizache (*Acacia farnesiana*)

Su hoja es caduca por lo que en este grupo de vegetación se encuentra sin hojas en la época seca durante un tiempo variable según especies (Rzdowski, 1978). El aspecto que presenta en invierno es gris negruzco por la carencia de hojas (Figura III.23). El sotobosque está representado por nopales (*Opuntia sp.*) y magueyes (*Agave sp.*) que dan verdor al paisaje y por matas espinosas como la uña de gato. El suelo está cubierto por un estrato herbáceo que no cubre siempre el suelo totalmente.



Fig. III.23 Panorámica de Matorral espinoso en la época seca, con el comienzo de la floración en San Miguel Tequixtepec.

En el trabajo de campo se puede ver que el Matorral espinoso es un tipo de vegetación que crece fácilmente en terrenos agrícolas abandonados o aislado en pastizales. Algunas de sus especies constituyen en ocasiones un tipo de vegetación secundaria, como la uña de gato (*Mimosa pueblensis*), un arbusto espinoso.

La leña no es la mejor como combustible del distrito, pero sí que sus ramillos y hojas son muy apetecibles para el ganado (Franco et al., 2008).

Tabla III.9 Especies más características del Matorral espinoso

Nombre común	Nombre científico
Consuelda	<i>Pittocaulon praecox</i> (Cav.) H. Rob. & Brettell
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i> L.
Espino blanco	<i>Acacia pennatula</i> Benth.
Uña de gato	<i>Mimosa pueblensis</i> R. Grether
Palo dulce	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg.

Matorral xerófilo

Una sección de Coixtlahuaca está incluida en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán Cuicatlán por la importancia florística y faunística que presenta parte de su territorio. El Matorral xerófilo es uno de los tipos de vegetación más importantes en la Reserva por su elevada endemidad y diversidad.

Este tipo de vegetación se compone de muy diversas formas biológicas (Tellez et al., 2008): cactáceas columnares arborescentes (tetecheras), palmares, plantas crasas y géneros con hojas en disposición de roseta tanto a ras de suelo (*Agave* spp. o *Dasyllirion* spp.) como al final del tallo (*Yucca* spp.).

Los palmares aparecen en distintas partes de Coixtlahuaca. Una de las especies es la palma de sombrero (*Brahea dulcis*), importante en la economía del distrito por ser muy usada en la elaboración de artesanía. La palma (*Brahea nitida*) alcanza portes arbóreos, como se muestra en la figura III.25. La vegetación acompañante de los palmares es también xerófila, y puede encontrarse también sin ser la palma la especie principal. Entre las especies xerófilas acompañantes o conformadoras del Matorral xerófilo propiamente se encuentran la cucharilla, la pata de elefante, biznagas, entre otras. Este tipo de vegetación no cubre totalmente el suelo sino que comúnmente deja claros en los que aparecen hierbas y matorrales bajos.



Fig. III.24 Matorral xerófilo con mayoría de cucharillas (*Dasyllirion* sp.) en San Miguel Tequixtepec



Fig. III.25 Palmar (*Brahea nitida*), al fondo Bosque de *Quercus* spp. mezclado con el palmar en Tepelmeme Villa de Morelos

Tabla III.10 Algunas especies del Matorral xerófilo en Coixtlahuaca

Nombre común	Nombre específico
Pata de elefante	<i>Beaucarnea gracilis</i> Lem.
Izote	<i>Yucca periculosa</i> Baker.
Cucharilla	<i>Dasyllirion</i> sp.
Palma	<i>Brahea nitida</i> André.
Palma de sombrero	<i>Brahea dulcis</i> Mart.
Maguey espadilla	<i>Agave angustifolia</i> Haw.
Maguey papalomé	<i>Agave potatorum</i> Zucc.
Lechuguilla	<i>Hechtia podantha</i> Mez.
Biznaga	<i>Ferocactus</i> sp.
	<i>Mammillaria</i> sp.
Asiento de suegra	<i>Echinocactus platycanthus</i> Link & Otto
Tetecho	<i>Neobuxbaumia</i> sp.
Cardón	<i>Pachycereus</i> sp. <i>Mitrocereus</i> sp.
Garambullo	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> Mart.
Viejitos	<i>Cephalocereus columna-trajani</i> Karw.

Pinar

Los pinares están constituidos por árboles del género *Pinus*, con alturas entre los 5 y los 20 metros. Los estratos herbáceo y arbustivo están poco representados. Ejemplares del género *Quercus* acompañan a las especies de pino, con menor altura. El suelo se encuentra cubierto por una capa de pinocha.

La descripción de pinar del párrafo anterior y la fotografía de la figura III.26 corresponden a un pinar en las inmediaciones del distrito de Coixtlahuaca, en San Miguel Chicahua. En el trabajo de campo no se localizan enclaves de pinar, únicamente algún pino aislado. Sin embargo sí pueden existir masas de pinar en Coixtlahuaca debido que el clima y la altitud de este pinar de San Miguel Chicahua son similares a las que existen en algunas zonas de Coixtlahuaca. Por esta razón se intenta clasificar en los mapas de vegetación y usos de Coixtlahuaca a los pinares.



Fig. III.26 Pinar en San Miguel Chicahua, en las inmediaciones del sur de Coixtlahuaca

Bosque de Quercus spp.

El Bosque de Quercus spp. crece en zonas donde se da el clima templado y está formado mayoritariamente por varias especies de árboles del género Quercus. Los bosques están compuestos por árboles de 3 a 8 metros de altura con especies caducas en las partes más bajas de su distribución y evolucionando a perennes según se asciende en altitud por existir más humedad y menores temperaturas. Se suele encontrar asociado con arbustos de Chaparral y al madroño (*Arbutus xalapensis*). El madroño es un arbolillo perenne de menor altura que los árboles del género Quercus. Es muy común la existencia de plantas epifitas como las bromelias (*Tillandsia* sp.). En el suelo se encuentra una importante capa de mantillo de hojas.



Fig. III.27 Panorámica del sotobosque del Bosque de Quercus spp. en San Juan Bautista Coixtlahuaca

Tabla III.11 Algunas especies del género Quercus en Coixtlahuaca (Cortés, 2007)

Especie	Nombre común
Quercus magnoliifolia Née	
Q. urbanii Trel.	Cucharón o Cucharilla
Q. glaucoides mart. & gal.	Encino tinto
Q. castanea Née	Encino colorado
Q. rugosa Née	Roble
Q. acutifolia Née	
	Encino amarillo

Terreno agrícola

Son terrenos dedicados al cultivo del trigo, cebada, frijol y maíz. La agricultura de riego, en donde se planta alfalfa como cultivo principal, no existe prácticamente en el distrito de Coixtlahuaca.



Fig. III.28 Terrenos agrícolas en Santa Catarina Ocotlán

Pastizal

Los pastizales no son naturales, sino que se trata de extensiones donde se ha perdido la vegetación por tala o sobreexplotación por parte del ganado. El pastoreo continuo del ganado impide que vuelvan a crecer nuevas plantas.

El estrato herbáceo, fundamentalmente de baja altura, y algún ejemplar de maguey (*Agave* sp.) cubren el terreno parcialmente, sin ser normalmente completo. Las especies principales son herbáceas anuales que en la estación seca se encuentran ya secas.



Fig. III.29 Suelo dedicado al pastoreo del ganado en San Juan Bautista Coixtlahuaca

Urbano

Asentamiento de un municipio o de una localidad. De pequeñas dimensiones, y con calles no pavimentadas en la inmensa mayoría de las poblaciones. En bastantes localidades las casas están construidas con materiales del entorno como caliche o madera de distintas especies.

Suelo desnudo

Como su palabra dice, se trata de un terreno en donde no hay vegetación y el suelo se encuentra expuesto. Ante la inexistencia de cubierta vegetal que lo proteja de las lluvias estacionales y torrenciales, el suelo se ha ido lavando año tras año y en ocasiones incluso aflora la roca madre que se encuentra debajo, de variada naturaleza.

Es muy común ver en Coixtlahuaca grandes superficies de terreno totalmente blanco como el de la figura III.30 llamado por la población local “caliche”. Este material es roca madre; se trata de concreciones de carbonato cálcico con alta facilidad de disgregación.



Fig. III.30 Afloramiento del 'caliche', en primer término un ejemplar de Uña de gato (*Mimosa pueblensis*). San Miguel Tulancingo

En el distrito de Coixtlahuaca también se encuentran numerosas cárcavas como las que aparecen en la figura III.31. En las cárcavas también ha aflorado la roca madre al lavarse el suelo. Las cárcavas están constituidas por material incoherente en nulo estado de agregación de naturaleza volcánica o areniscas rojas según su localización en el distrito.



Fig. III.31 Muestra de la erosión en cárcavas en San Cristóbal Suchixtlahuaca

Otros usos

En Coixtlahuaca además de los usos descritos en el apartado existen otros minoritarios que como las presas de agua y las reforestaciones.

Las presas de agua ocupan una bajísima proporción: son escasas y de tamaño pequeño. Por esta razón no se representan en los mapas de uso de vegetación de los distintos años de estudio, pero sí en el mapa para las autoridades, como más adelante se explica.



Fig. III.32 Presa en San Antonio Abad (Fuente: Carlos Jiménez)

Las reforestaciones que existen en el municipio fueron diseñadas por órganos del gobierno, Comisiones de cuencas hidrográficas, etc. como planes de recuperación de Coixtlahuaca. Algunas reforestaciones fueron realizadas con especie nativa, como varias especies de pinos mexicanos (*Pinus oaxacana*, *Pinus greggi*). Pero también existen de especies alóctonas como el cedro, la casuarina y el eucalipto.

Las reforestaciones no se incluyen en la leyenda de los mapas debido a la alta variedad de especies reforestadas, por no constituir importantes superficies y porque se considera que no interesa en el análisis temporal de usos del distrito. No obstante, sí figuran las localizaciones de las reforestaciones en el mapa de las autoridades por considerar importante que figuren en el mapa con el que trabajen los organismos del distrito y municipales.



Fig. III.33 Reforestación con pino en Santiago Ihutlán Plumas

2. DESCRIPCIÓN DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE UTILIZADAS

Como material fundamental para lograr los objetivos del presente proyecto, se dispone de un número total de 6 imágenes tomadas por los satélites Landsat 4 y Landsat 7 para los años de estudio 1989, 1999 y 2006.

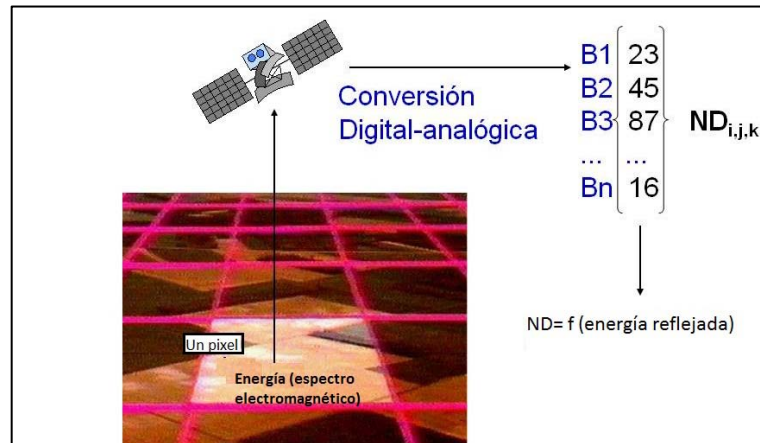


Fig. III.34 Significado de un pixel (Chuvieco, 2002)

Los satélites transportan unos sensores que son capaces de captar la energía solar reflejada por una porción de superficie terrestre y plasmarla en la imagen digital como un número llamado Nivel Digital (ND). El Nivel Digital es una cifra entre 0 y 255 que representa la energía reflejada por el terreno (fig.III.34).

La información de la energía reflejada por la superficie terrestre se recoge en porciones del espectro electromagnético denominadas bandas. En un pixel hay un nivel digital para cada banda del espectro electromagnético (fig. III.34 y fig.III.35).

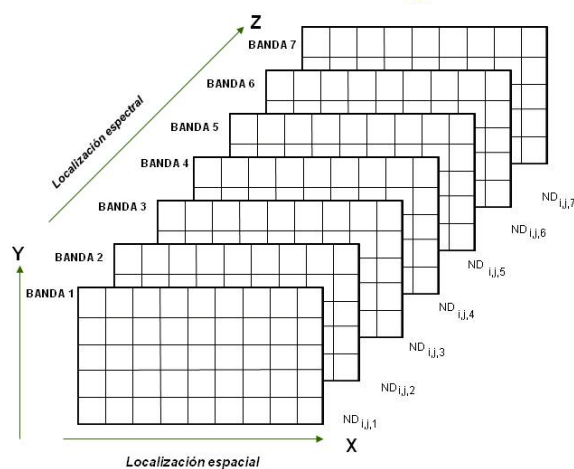


Fig. III.35 Organización de la información en una imagen digital. (Otero, 2005)

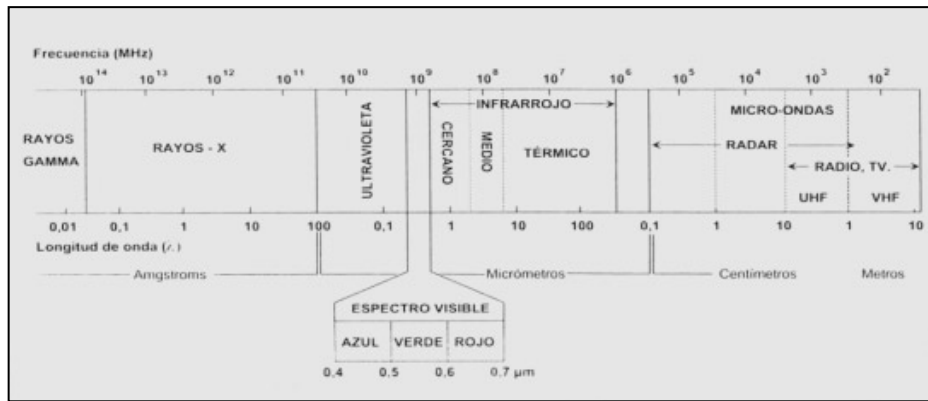


Fig. III.36 Espectro electromagnético

El número de bandas de las imágenes de este proyecto se incluye en la tabla III.12; existen hasta 8 bandas en el sensor más moderno de los satélites Landsat. Según Bautista (2004) las bandas que mejor detectan la vegetación son las del visible, el infrarrojo cercano e infrarrojo medio; éstas detectan la vegetación por el parénquima esponjoso de las hojas, la humedad de la planta, las hojas senescentes y la absorción de la clorofila. Estas mismas bandas son las que se usan en este estudio.

En la tabla III.12 se concreta el tamaño del píxel de las imágenes utilizadas en este proyecto. En la misma tabla también se cita el satélite, el sensor que tomó la imagen y la fecha de cada una de ellas. Para cubrir totalmente la zona de estudio se han necesitado varias imágenes, en esta tabla resumen se incluye a su vez el código de ubicación de cada una de ellas.

Tabla III.12 Características más importantes de las imágenes de satélite usadas

	Fecha de captura	Sistema de ubicación de imágenes: Fila-columna/ J-K	Satélite	Sensor	Bandas espectrales	Resolución
1989	26/10/1989	25-47	Landsat 4	TM	1,2,3,4,5,6,7	28,5 metros (THM)
	26/10/1989	25-48	Landsat 4	TM	1,2,3,4,5,6,7	28,5 metros (THM)
1999	9/12/1999	25-47	Landsat 7	ETM+	1,2,3,4,5,6,6,7,8	14,25 metros(PAN)
	9/12/1999	25-48	Landsat 7	ETM+	1,2,3,4,5,6,6,7,8	14,25 metros(PAN)
2006	23/11/2005	25-47	Landsat 7	ETM+	1,2,3,4,5,6,6,7,8	15 metros(PAN)
	26/11/2006	25-48	Landsat 7	ETM+	1,2,3,4,5,6,6,7,8	15 metros(PAN)

En el anexo 5 se encuentra la información completa de las imágenes de satélite, aunque el datum, el elipsoide y el sistema de proyección es el mismo para todas las imágenes (tabla III.13).

Tabla III.13 Datum, elipsoide y sistema de proyección de las imágenes de satélite utilizadas

Datum	WGS84
Elipsoide	WGS84
Sistema de proyección	UTM 14 Norte

Previamente a la descripción de todas las imágenes de satélite que se van a usar como material del presente proyecto, se detalla en la figura III.37 la función global de cada una de ellas.

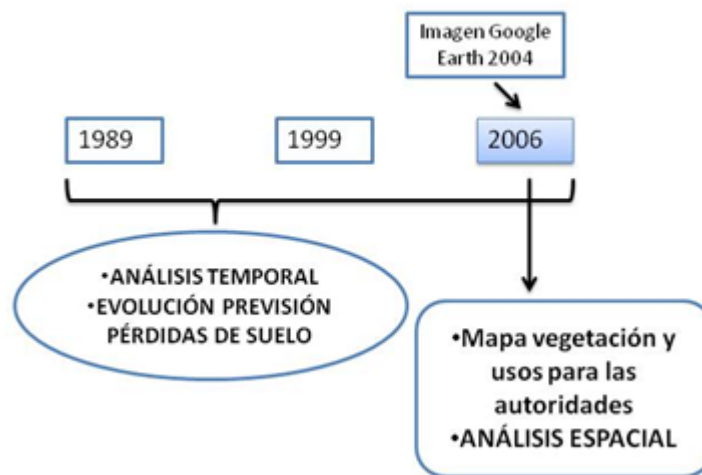


Fig. III.37 Esquema de la función de las imágenes de satélite en el proyecto

En el presente proyecto únicamente se dispone de las imágenes de satélite y de la imagen Google Earth como material sobre la distribución de usos y tipos de vegetación. Las imágenes de satélite Landsat se emplean para obtener a partir de ella los mapas de usos y vegetación. La imagen Google Earth aporta valiosa información visual de las cubiertas de Coixtlahuaca y fue tomada en el 2004. La imagen del 2006 es la más cercana temporalmente a ella, por ello la información sobre el territorio que aporta la imagen Google Earth se referirá al año 2006. Su utilidad es servir como herramienta para obtener la clasificación supervisada y la verificación de resultados, tal y como se detallará en los sucesivos apartados.

El año 2006 es por tanto del que se dispone más información sobre distribución de usos y vegetación, por disponer de imagen del satélite Landsat e imagen Google Earth. Por

esta razón este mismo año es el último del análisis temporal, sobre el que se realiza el análisis espacial y del que se obtiene el mapa para las autoridades (fig.III.37).

Las imágenes del 1989, 1999 y 2006 son usadas propiamente para la evolución temporal de los usos de suelo y la pérdida del suelo por erosión hídrica.

Imágenes del año 1989

Para cubrir el área de Coixtlahuaca se necesitan dos imágenes satelitales de ese año. Estas imágenes fueron las tomadas por el sensor TM (*Thematic Mapper*) del satélite Landsat 4 a fecha 26 de Noviembre de 1989. Estas dos imágenes corresponden al sistema de ubicación de las imágenes Landsat fila y columna (path-row): 25-48 y 25-47.

En el análisis temporal se realizan comparaciones de imágenes y es necesario que todas las imágenes presenten la misma resolución. La imagen del año 1989 es la que presenta mayor tamaño de pixel (28,5 m) (tabla III.12) y es por tanto el tamaño que limita en cuanto a información. De este modo, la resolución de las imágenes con la que se trabaja en este proyecto es de 28,5 metros de lado: 812,25 m² de superficie de pixel.

Por las características del sensor TM, en este año se dispone de la siguiente información espectral:

Tabla III.14 Tramo de longitud de onda en μm de las bandas del satélite Landsat 4 (Eastman, 2006)

Banda	Porción del espectro electromagnético	Longitud del onda (μm)
Banda 1	Azul visible	0,45-0,52
Banda 2	Verde visible	0,52-0,60
Banda 3	Rojo visible	0,63-0,69
Banda 4	Infrarrojo cercano	0,76-0,90
Banda 5	Infrarrojo medio	1,55-1,75
Banda 6	Infrarrojo térmico	10,40-12,50
Banda 7	Infrarrojo medio	2,08-2,35

Las dos imágenes 25-47 y 25-48 se unen banda a banda con el procesador de imágenes. La imagen resultante se recorta a un rectángulo que incluye la región de estudio por lo innecesario de disponer información fuera de la región y para acelerar los pasos siguientes de clasificación de imágenes (figura III.38).

En el Anexo 6 se presentan los comandos utilizados con el programa procesador de imágenes IDRISI edición Andes a lo largo del proyecto.

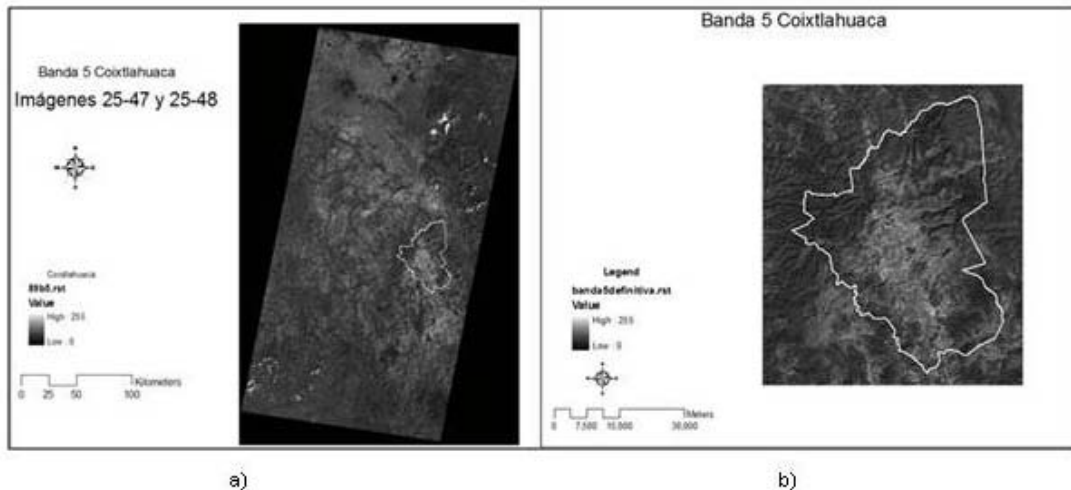


Fig. III.38 a) Información sobrante respecto al distrito de Coixtlahuaca. b) Imagen recortada.

Imágenes del 1999

Al igual que para el año 1989, para abarcar todo el distrito se requieren dos imágenes localizadas en las filas y columnas 25-47 y 25-48. Estas imágenes fueron tomadas por el sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) del satélite Landsat 7 el día 9 de diciembre de 1999.

Las dos imágenes se unen banda a banda y posteriormente la imagen resultante se recorta a la misma porción de superficie que en el caso anterior (figura III.38). La información sobre las bandas del sensor ETM+ se recoge en la tabla siguiente:

Tabla III.15 Tramo de longitud de onda en μm de las bandas del satélite Landsat 7 (Eastman, 2006)

Banda	Porción del espectro electromagnético	Longitud del onda (μm)
Banda 1	Azul visible	0,45-0,52
Banda 2	Verde visible	0,52-0,60
Banda 3	Rojo visible	0,63-0,69
Banda 4	Infrarrojo cercano	0,76-0,90
Banda 5	Infrarrojo medio	1,55-1,75
Banda 6	Infrarrojo térmico	10,40-12,50
Banda 7	Infrarrojo medio	2,09-2,35
Banda 8	Pancromático	0,52-0,90

Las imágenes de satélite del año 1999 presentan un tamaño de pixel de 14,25 metros de lado (ver tabla III.12). Como se comenta en párrafos anteriores la resolución espacial con la que se trabaja en el presente proyecto es de 28,5 metros, por lo que esta imagen ha de presentar tal resolución. Para realizar la conversión de resolución en primer lugar se transforma

el formato de la imagen de raster a vectorial. A continuación se invierte la transformación y se convierte la imagen de formato vectorial a raster, ya en la resolución con que se trabaja en el proyecto: 28,5 metros.

Imágenes del 2006

También para este año hacen falta dos imágenes con sistema de ubicación 25-47 y 28-48 para cubrir el área de Coixtlahuaca. En este proyecto, por razones de disponibilidad, se han usado dos imágenes de distintos años. La primera de ellas fue tomada el 23 de Noviembre del 2005, mientras que la segunda el 26 de Noviembre del siguiente año. Esto no tiene apenas impacto negativo en la calidad del estudio ya que la imagen de 2005 constituye únicamente el 5% de la superficie (figura III.39).

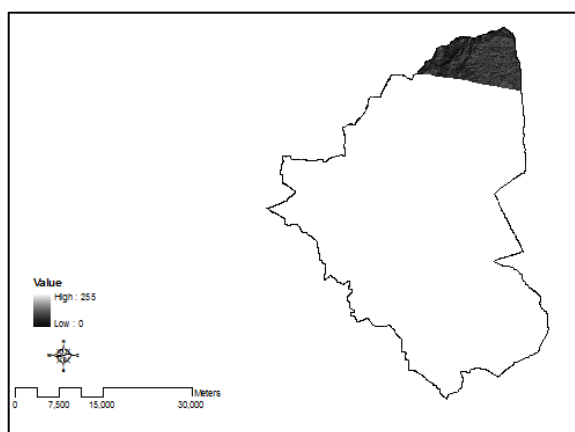


Fig. III.39 Imagen de satélite fila-columna 25-47 cubre 5%de Coixtlahuaca

Para este año de estudio se han usado imágenes tomadas por el satélite Landsat 7, con sensor ETM+, y por tanto mismo número de bandas y resolución espacial que en el caso anterior. De igual manera que en el año 1999 las celdillas de la imagen del año 2006 también se transforman a la resolución de 28,5 metros, para adaptar la imagen a la resolución común del proyecto. A su vez, las dos imágenes se unen banda a banda con el procesador de imágenes y posteriormente se recortan al contorno de la región.

Imagen del 2004

La imagen de satélite del programa Google Earth también ha sido usada en este trabajo. Dichas imágenes tienen en el distrito una resolución de 2,25 metros y fueron tomadas el 31 de Enero del 2004. Gracias al motor de búsqueda Google y a la combinación de mapas con imágenes de satélite, se consigue una información muy valiosa de la distribución de usos y

vegetación para este proyecto. Es preciso destacar la alta resolución que presenta la imagen y que se presenta en color verdadero, aspectos importantes para el análisis visual de la misma.

Como ya se comentó en párrafos anteriores de este apartado, a partir de la imagen del 2004 no se genera un mapa. Esta imagen aporta útil información sobre la distribución de usos y tipos de vegetación. En el presente proyecto sirve como herramienta para conseguir la clasificación supervisada y otorgar al mapa de las autoridades de un porcentaje de acierto.

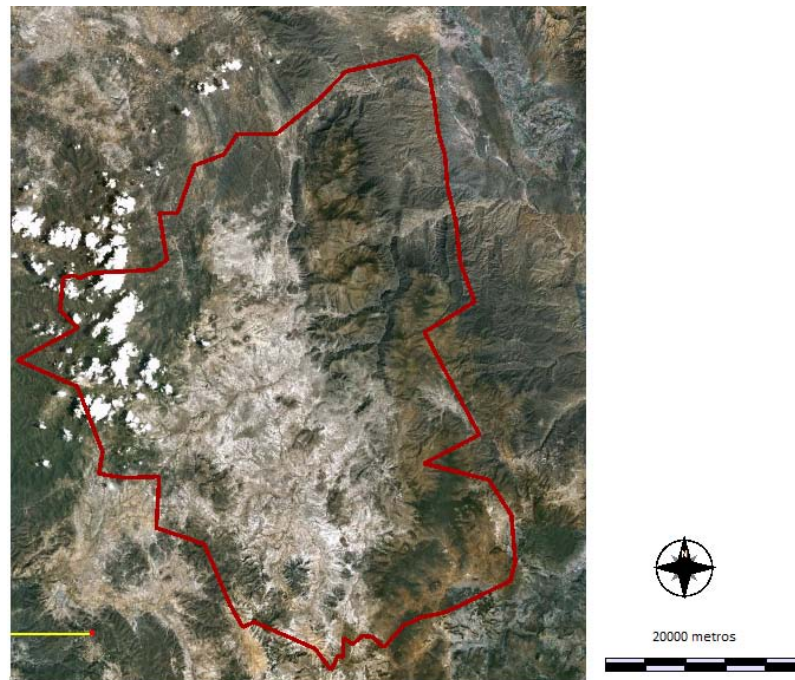


Fig. III.40 Imagen Google Earth 2004 de Coixtlahuaca

3. CREACIÓN DE LOS MAPAS DE VEGETACIÓN Y USOS

Al igual que es posible clasificar una región geográfica por su vegetación, es posible clasificar también una región geográfica por su comportamiento espectral detectado por los sensores de los satélites. La clasificación de una imagen de satélite consiste en asociar esos patrones espectrales a rasgos característicos de la superficie terrestre (Bautista, 2004).

En este apartado se detalla cómo se generan los tres mapas raster de usos de suelo y vegetación correspondientes a los años 1989, 1999 y 2006 a partir de las respectivas imágenes de satélite.

Se recurre a la llamada clasificación de imágenes para lograr la asignación de los píxeles de una imagen de satélite a un determinado uso del suelo o un tipo de vegetación. Existen dos tipos de clasificación: supervisada y no supervisada, siendo la primera de ellas la que se seguirá en este proyecto. Los tipos de vegetación y usos del suelo que se clasifican en la imagen de satélite se refieren en una clasificación como categorías o clases.

La clasificación supervisada se basa en la definición por parte del intérprete de áreas representativas de cada categoría. A las áreas representativas se las conoce como áreas de control, se seleccionan mediante trabajo de campo. A partir de estas superficies delimitadas el software genera las llamadas firmas espectrales. Las firmas espectrales identifican cada una de las clases según los niveles digitales de los píxeles encerrados en las áreas delimitadas. Posteriormente el software, mediante el uso de un clasificador, asigna el resto de píxeles de la imagen a una de estas categorías en función de la similitud que exista con las firmas espectrales definidas (ver fig. III.41) (Chuvieco, 2002).

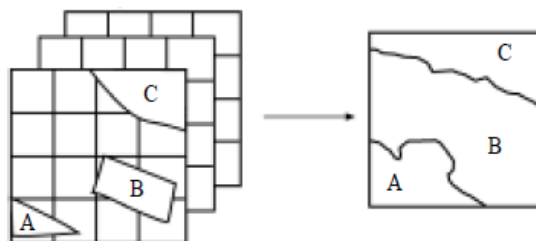


Fig. III.41 Esquema de la clasificación supervisada (Bautista, 2004).

En la llamada clasificación no supervisada es el software quien clasifica la imagen sin involucración del intérprete, es decir, no hay áreas de control. Este tipo de clasificación se basa en que una misma categoría tiene valores de reflexión (Niveles digitales) similares (fig.III.42).

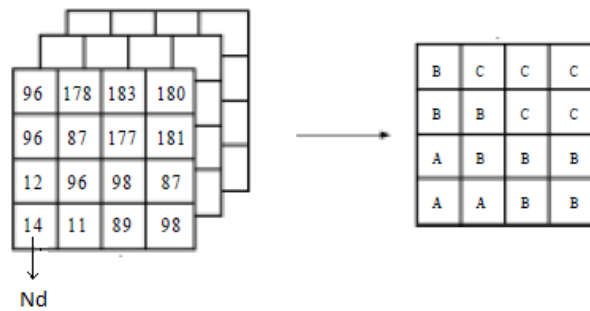


Fig. III.42 Esquema de clasificación no supervisada (Bautista, 2004)

La clasificación no supervisada se sigue cuando no se conoce suficientemente la zona de estudio como para referir al programa procesador de imágenes áreas representativas de cada categoría (Bautista, 2004). En este proyecto sí que se conocen áreas características de cada categoría por lo que se utiliza la clasificación supervisada de las imágenes satelitales.

3.1. COMPOSICIONES EN FALSO COLOR

A continuación se definen las llamadas composiciones falso color o composiciones RGB (Red, Green, Blue) por la utilidad en el apartado de creación de mapas de vegetación y usos para todos los años.

Las composiciones en falso color se usan en este proyecto como fuente de información visual de la distribución de usos y vegetación en Coixtlahuaca.

Para el análisis visual, los compuestos RGB hacen un uso total de las capacidades del ojo humano. Para realzar las coberturas de interés de la región de estudio, se asigna una banda a cada cañón de color rojo, verde y azul (RGB: Red, Green, Blue). Así se consiguen las llamadas imágenes falso color, nombre que recibe porque los colores que se ven no son verdaderos (fig. III.43).

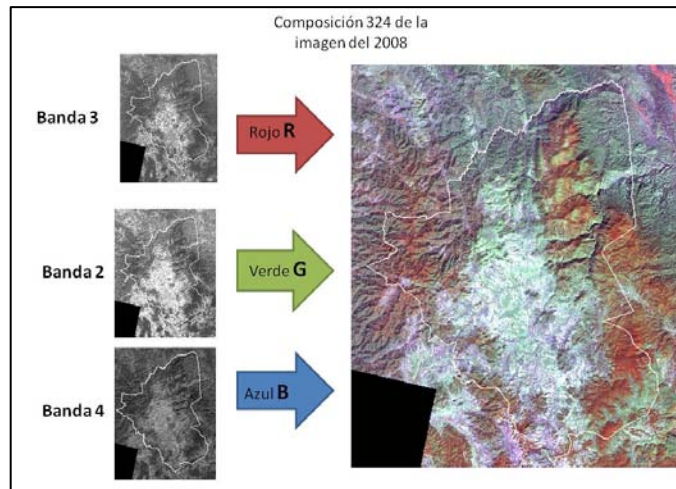


Fig. III.43 Esquema de la obtención de la composición en falso color

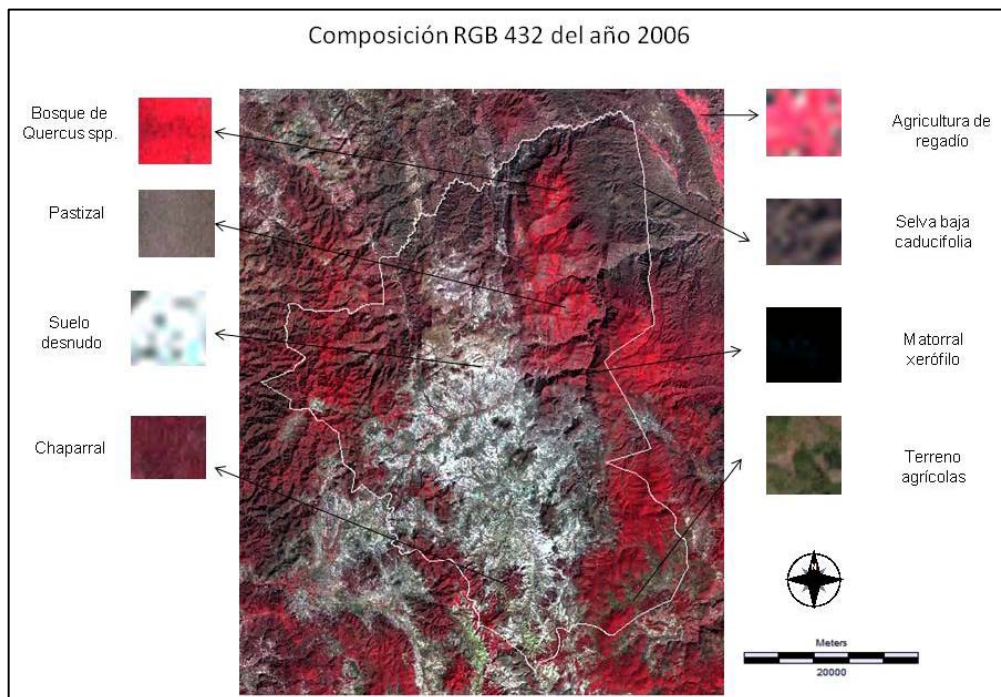


Fig. III.44 Composición RGB 432 de 2006 de Coixtlahuaca y asociación de colores con distintos tipos de cubiertas

En la composición RGB de Coixtlahuaca que se representa en la figura III.44 se distinguen varios tonos de rojo, de gris e incluso de verde. Al conocer el terreno, se sabe que las diferentes tonalidades de la composición reflejan distintos usos y tipos de vegetación, entre otros: los Bosques de Quercus spp. aparecen en un tono rojo más intenso, el suelo desnudo de la parte central se ve perfectamente blanco y los cultivos de regadío del Valle de Tehuacán, al noreste del mapa, aparecen en color rosa.

La combinación RGB utilizada para cada año es resultado de varios intentos hasta dar con la combinación que más realce las distintas cubiertas. Los intentos se basan en sucesivas asignaciones de distintas bandas a los cañones de color rojo, verde y azul. Las bandas del visible y del infrarrojo cercano y medio son las que mejor realzan los distintos tipos de vegetación según Bautista (2004). En base al conocimiento del terreno y la imagen Google Earth se elige la combinación para cada año que mejor diferencie los distintos usos de suelo y la vegetación (tabla III.16).

Tabla III.16 Composición RGB utilizada para cada año

Año de estudio	Composición RGB utilizada
1989	413
1999	423
2006	432

El trío de números que aparece en la tabla se trata de la asignación de bandas a cada cañón de color. Como ejemplo, para el 2006 la composición 432 corresponde de asignar la banda 4 al color rojo, la 3 al verde y la 2 al azul. La banda cuatro corresponde al infrarrojo cercano, la banda tres al rojo visible y la banda dos al verde visible.

La resolución de las composiciones RGB es la misma que la de las imágenes de satélite del año correspondiente. Así, para el año 1989 la composición a color tiene una resolución de 28,5 metros. En cambio, para el 1999 y el 2006 es de 14,25 y 15 metros respectivamente (ver tabla III.12). En estas imágenes no es necesaria la puesta en común de la resolución ya que no se comparan entre ellas, las imágenes constituyen información visual para el intérprete.

Para los años 1989 y 1999 no se dispone de mapas fiables de usos de suelo o vegetación, ni de la imagen de satélite Google Earth. Las composiciones RGB son la única fuente de información para estos años. Para el año 2006 se dispone tanto de la imagen Google Earth, como se explica anteriormente, como de la composición RGB correspondiente.

3.2. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS DEL AÑO 2006

En este apartado se describe cómo se obtiene el mapa raster de vegetación y usos del 2006 de Coixtlahuaca a partir de las imágenes de satélite del mismo año descritas anteriormente. A su vez, se expone cómo se otorga a este mapa de un porcentaje de validez.

A continuación se presenta un esquema con las fases para generar el mapa de vegetación y usos del 2006 y el porcentaje de acierto del mismo (Fig. III.45). La clasificación supervisada es el método para conseguir este mapa, tal y como se describió al comienzo del apartado 3.

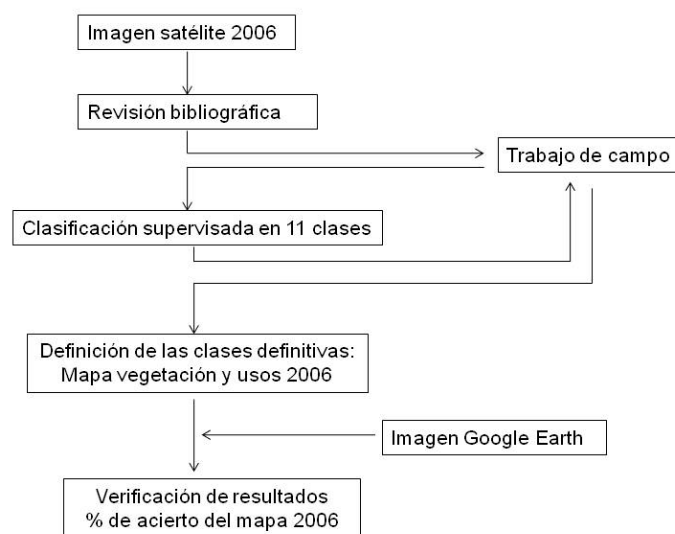


Fig. III.45 Esquema metodológico para obtener el mapa de vegetación y usos del 2006, y el porcentaje de acierto del mismo

Como fase previa (revisión bibliográfica de la fig. III.45) es necesario que el intérprete se familiarice con la zona de estudio estudiando la vegetación y usos de la región en la bibliografía pertinente. Esta información se afianza y completa con trabajo de campo de reconocimiento del paisaje.

En base a la bibliografía consultada y a los tipos de usos y vegetación identificados en campo se eligen los usos y tipos de vegetación a representar. En nuestro proyecto, tal y como se describió en el apartado 3.4, se representan once clases: Chaparral, Boque de enebros, Matorral espinoso, Matorral xerófilo, Suelo desnudo, Bosque de Quercus spp., Pinar, Terrenos agrícolas, Pastizal, y Terreno urbano.

Como punto fundamental de la clasificación supervisada se delimitan en campo superficies representativas de cada una de ellas, las áreas de control. Usando como herramienta el programa procesador de imágenes se obtienen las firmas espectrales de cada categoría. Las firmas espectrales recogen información de variables estadísticas, como la media y la varianza, de los niveles digitales de los píxeles encerrados dentro de las áreas de control. En base a las firmas espectrales, el clasificador del programa procesador de imágenes conocido como “clasificador duro de máxima probabilidad” clasifica el resto de píxeles de la imagen según su nivel digital. Y así, se obtiene la imagen clasificada del 2006 en las once categorías antes mencionadas.

Mediante trabajo de campo se evalúa la clasificación de la imagen del 2006. Es decir, se decide si continúan las once categorías en la leyenda, si hay que excluir alguna de ellas por estar mal representada su distribución (definición de las clases definitivas de la fig.III.45). Se genera el mapa definitivo de usos y vegetación del 2006 al volver a clasificar la imagen en las categorías definitivas.

Por último, mediante un muestreo sobre la imagen de satélite Google Earth, se establece el porcentaje de acierto del mapa de vegetación y usos del 2006.

En los siguientes apartados se describe más detalladamente las fases de la clasificación supervisada de la imagen del 2006.

3.2.1. LOCALIZACIÓN DE ÁREAS DE CONTROL

Tal y como se resumió en el esquema del punto anterior, en primer lugar se consultan documentos, estudios y proyectos sobre la zona para conocer qué vegetación que se da en Coixtlahuaca. En las primeras salidas al distrito, al familiarizarse el intérprete con el paisaje, se deciden los usos de suelo y tipos de vegetación a clasificar. En el anexo 4 se incluye un mapa de los recorridos por la región de estudio.

Tras la documentación y trabajo de campo se decide incluir los once usos de suelo y tipos de vegetación que se describen en el apartado 3.2.

Delimitar las áreas de control es el siguiente paso en la clasificación supervisada y se trata de un punto elemental del proceso por condicionar el mapa final que se genera. Las áreas de control son superficies representativas de cada una de las categorías que van a ser

representadas en el mapa y han de delimitarse digitalmente en el programa procesador de imágenes para continuar con el proceso de clasificación.

Las áreas de control para cada categoría han de tener un mínimo de píxeles para que el software procese correctamente la información. El número de píxeles incluidos en esta superficie ha de ser, por lo menos, 10 veces el número de bandas que capte el sensor (Eastman, 2006). En nuestro caso, el sensor ETM+ que captó la imagen del 2006 es sensible a 8 bandas y por tanto las áreas de control han de ser de más de 80 píxeles. Se recuerda que el tamaño de pixel que se va a utilizar en este proyecto en la comparación de imágenes, es de 28,5 metros. Por tanto, el área mínima resulta de multiplicar 80 píxeles por el área de cada pixel, resultando 6,50 ha.

Tabla III.17 Superficie de cada una de las áreas de control

Clase	Chaparral	Bosque de enebros	Selva baja caducifolia	Matorral espinoso	Matorral xerófilo	Suelo desnudo	Bosque de Quercus spp.	Agricultura	Pastizal	Pinar	Urbano
S (ha)	46,2	33,7	17,8	20,1	20,2	24,9	61,29	99,1	170,37	38,1	56,6

En la tabla III.17 se expone la superficie del área de control de cada categoría; todas las superficies son superiores a 6,50 ha. Por tanto, todas las categorías cumplen la superficie mínima para clasificarse correctamente en el mapa.

El ordenador portátil con la imagen Google Earth se utiliza en las salidas a la zona de estudio para delimitar las áreas de control elegidas como más representativas. En ocasiones se utiliza un GPS para localizarse en dicha imagen.

En base a la información delimitada en Google Earth se definen digitalmente las áreas de control en el programa procesador de imágenes sobre la composición RGB 432 del 2006. La composición RGB ayuda a definir el perímetro de estas áreas por el falso color ya que ensalza los distintos tipos de vegetación y usos del suelo. Una vez que el software dispone de un archivo vectorial con las áreas de control se puede iniciar el siguiente paso de la clasificación supervisada.

3.2.2. CREACIÓN DE LAS FIRMAS ESPECTRALES

Una vez definidas las áreas de control de cada categoría, se caracteriza estadísticamente a cada una de ellas en la llamada firma espectral.

La información estadística es sintetizada por el programa procesador de imágenes a partir de las bandas de la imagen de satélite del año 2006 y en función de las áreas de control. Y así, en función de los niveles digitales de los píxeles delimitados en las áreas de control, se establece la media, la varianza etc. para cada categoría. Esta firma espectral sirve como modelo al software usado para clasificar en el siguiente punto al resto de píxeles.

3.2.3. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

El siguiente paso consiste en la propia clasificación. En esta fase se asignan todos los píxeles de la imagen en las once categorías definidas en el proyecto. El clasificador que se utiliza en este trabajo es denominado “duro”, ya que asigna todos los píxeles a una categoría, sin dejar ninguno sin clasificar.

Dentro de los clasificadores duros se usa el de “máxima probabilidad”. Este evalúa, la probabilidad de que un píxel dado pueda pertenecer a una categoría; y clasifica el píxel en la categoría con mayor probabilidad de pertenecer a él (Alonso y Herrero (2001). Según Eastman (2006), cuando las áreas de control están bien elegidas, el clasificador más correcto es el de máxima probabilidad.

De esta forma se genera un mapa de usos de suelo y tipos de vegetación del año 2006 con las once categorías: Chaparral, Boque de enebros, Matorral espinoso, Matorral xerófilo, Suelo desnudo, Bosque de Quercus spp., Pinar, Terrenos agrícolas, Pastizal, y Terreno urbano.

3.2.4. DETERMINACIÓN DE LAS CLASES DEFINITIVAS

Una vez clasificada la imagen 2006 en las categorías elegidas, se procede a una evaluación de los resultados. La teledetección es indudablemente una ventajosa herramienta para este proyecto pero no es perfecta y es posible que algunas categorías no se clasifiquen correctamente en el mapa.

La evaluación se basa en sucesivas salidas al distrito y en el conocimiento del terreno que se adquiere en cada salida a Coixtlahuaca. Como complemento al trabajo de campo, la imagen Google Earth proporciona muy útil información acerca de la distribución de la vegetación y usos del distrito. En los recorridos se examina simultáneamente la realidad (qué vegetación hay en un punto concreto) y lo que representa el mapa en ese mismo lugar. Se determina qué uso de suelo o vegetación es, y si está correctamente clasificado en el mapa.

Se eliminan las categorías que tras la evaluación no se clasifican bien en la imagen y presentan amplias localizaciones erróneas. La base de este hipotético descarte de categorías se basa en la realización de varias clasificaciones de la imagen, únicamente el último paso. En las sucesivas clasificaciones se va “probando” con aquella categoría que se clasifica incorrectamente. Esta “prueba” consiste en ir eliminando la categoría y añadiéndola en varias clasificaciones y observando si efectivamente la categoría se representa mal en la clasificación o si se confunde con otro uso de suelo o tipo de vegetación. En este último se incluiría con esta categoría de manera conjunta en la clasificación final.

El resultado de este apartado es un mapa de usos de suelo y tipos de vegetación para el año 2006 con once o menos categorías, según el resultado de la evaluación. Dicha clasificación final es el resultado de una última clasificación de la imagen, sólo este último paso, en las categorías que se ha considerado que se clasifican correctamente, quedando asignados todos los píxeles a algún uso o tipo de vegetación.

3.2.5. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez generado el mapa con la leyenda definitiva de vegetación y usos del 2006 se procede a evaluar la validez de éste. Este apartado se desarrolla porque se considera que es importante otorgar una validez al mapa de las autoridades obtenido en este proyecto.

Un muestreo en campo es la metodología más fiable de dar validez a los mapas generados. En este proyecto no realiza este tipo de muestreo, sino sobre la imagen de satélite Google Earth. Las causas, que se comentan en el apartado de discusión, son básicamente que no se ha podido acudir a la zona de estudio tanto como se necesita. Se ha efectuado la verificación de resultados de la manera que se detalla a continuación.

La validación de los resultados de este proyecto se basa en un muestreo sobre imágenes de satélite Google Earth del 2004.

En las sucesivas salidas al distrito de Coixtlahuaca se fueron anotando sobre esta imagen de satélite los tipos de vegetación y usos de suelo que se van observando en los recorridos. Con cada salida al campo se va logrando conocer lo que representa la imagen de satélite (ver figura III.46). Por ello, el muestreo sobre la imagen Google Earth se considera suficientemente válido.

En la figura III.46 se observa cómo se asocian los colores y texturas de la imagen Google Earth con los usos y vegetación del distrito. Así, el Bosque de *Quercus* spp. caducifolio se presenta en la imagen como marrón y con textura granulada; en cambio el Chaparral, con la misma textura, es de color verde. La agricultura es el uso que se observa en esta figura y toma color marrón o gris muy pálido y textura lisa.

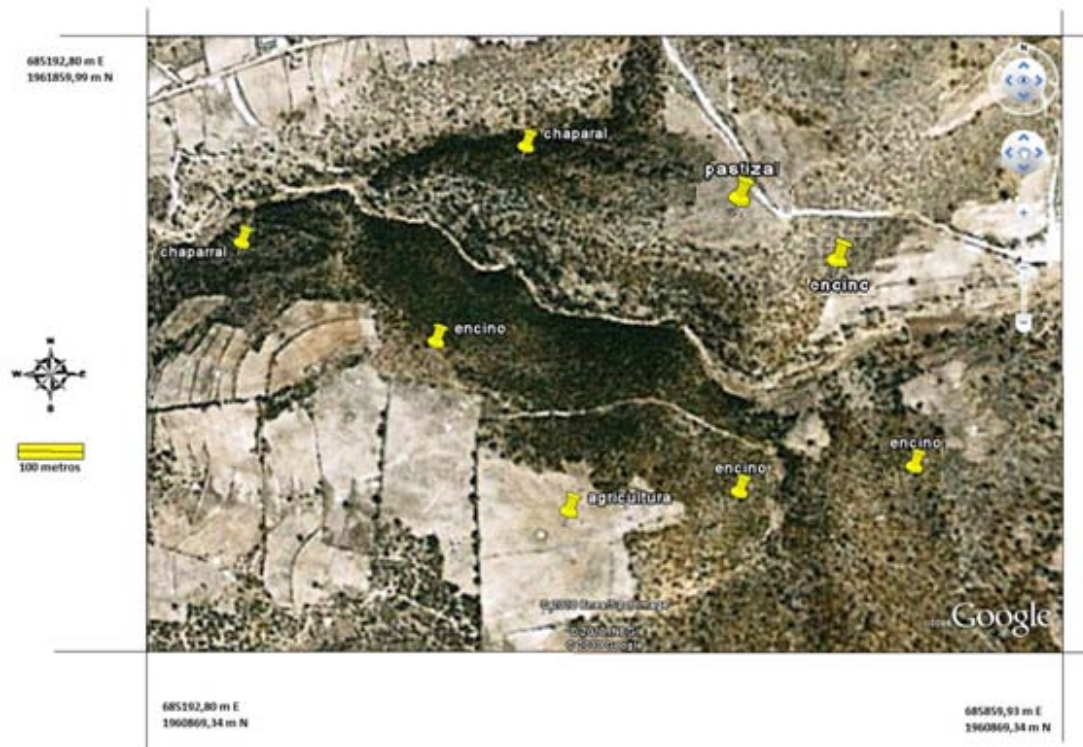


Fig. III.46 Ejemplo de la localización de marcas de posición en imagen satélite Google Earth

El muestreo que se ha realizado en Coixtlahuaca es de tipo sistemático para facilitar la localización de puntos en la imagen de satélite.

El lado de malla del muestreo sistemático es 2.000 metros. Teniendo en cuenta la amplitud del distrito de Coixtlahuaca, cerca de 170.000 ha, esta longitud de malla se considera suficiente.

Con el fin de otorgar validez al mapa raster definitivo de usos y vegetación del 2006, el muestreo sistemático se compara con éste. Por esta razón los puntos de muestreo se convierten al formato raster, en igual resolución que el mapa, para que se pueda realizar la comparación. Y así, el muestreo sistemático se realiza en áreas de tamaño un pixel de 28,5 metros de lado, de igual resolución que el mapa.

Sobre la imagen Google Earth se muestrean las áreas equivalentes a un pixel anteriormente descritas. No se muestrean los siguientes:

- a. No pertenezcan a ningún uso de los que se trabaja en la clasificación. Esto sucede en el caso de que se deseche alguna categoría de la leyenda definitiva en el apartado de determinación de clases definitivas. También ocurre si es uno de los usos minoritarios que no se clasifican en el mapa, como agua o reforestaciones.
- b. No se tenga certeza de qué uso se trata en la imagen Google Earth.

A continuación, se enfrentan los pixeles del muestreo con los pixeles correspondientes del mapa del 2006. Resulta del enfrentamiento una matriz de la siguiente forma (fig.III.47):

Mapa Muestreo	Uso 1	Uso 2	Uso 3	Error de comisión
Uso 1	Asignación correcta	Asignación incorrecta	Asignación incorrecta	
Uso 2	Asignación incorrecta	Asignación correcta	Asignación incorrecta	
Uso 3	Asignación incorrecta	Asignación incorrecta	Asignación correcta	
Error de omisión				

Fig. III.47 Esquema de la matriz de error-acierto

Los pixeles que aparecen en la diagonal son el número de asignaciones correctas en el mapa. El número de pixeles fuera de la diagonal corresponde con asignaciones incorrectas del mapa.

El cociente del número de aciertos entre el número de puntos muestreados corresponde con el índice de acierto del mapa de usos y vegetación del 2006.

3.3. MAPAS DE VEGETACIÓN DE LOS AÑOS 1989 Y 1999

Las imágenes de satélite de 1989 y 1999 presentan la función en este proyecto de ser material para el análisis temporal, tal y como se explica en el apartado de descripción de las imágenes de satélite utilizadas. A partir de las imágenes de satélite correspondientes se genera un mapa de usos de suelo y vegetación para cada año.

Los años 1989, 1999 y 2006 son comparados en el análisis temporal. Por ello, es necesario que todos los mapas de cada uno de los años del análisis temporal presenten las mismas categorías. Las categorías que se decide incluir de forma definitiva en el mapa del 2006, son las que se clasifican en los mapas de estos años.

En los apartados siguientes se describe la clasificación supervisada para la obtención de los mapas de los años 1989 y 1999.

3.3.1. ÁREAS DE CONTROL Y FIRMAS ESPECTRALES

En el año 2006 se dispone de información de la distribución de usos y vegetación de dos fuentes: la imagen Google Earth y la composición RGB de ese año. En cambio, para los años 1989 y 1999 únicamente se dispone de la composición RGB en cuanto a este tipo de información.

No se pueden delimitar áreas de control en los años 1989 y 1999 por no presentar información de áreas representativas de las categorías. Así, las áreas de control utilizadas en la clasificación de la imagen 2006 son las mismas que las que se usan para clasificar las imágenes de satélite de 1989 y 1999. Se comprueba en la imagen RGB de estos años que efectivamente el terreno que delimitan pertenece a esta categoría.

El periodo de tiempo del análisis temporal de este proyecto es de 17 años. En estos 17 años no es fácil que un uso cambie y que en el 2006 ya se considere como representativo. Los terrenos agrícolas constituyen una excepción. Si se rotura un terreno para convertirlo en uso agrícola, sí podría ser elegido como representativo en el 2006 porque no queda ni rastro de su pasado forestal.

Para los años 1989 y 1999 se utiliza la composición RGB para corroborar que pertenecen a la misma categoría en ese año en cuestión (fig. III.48).

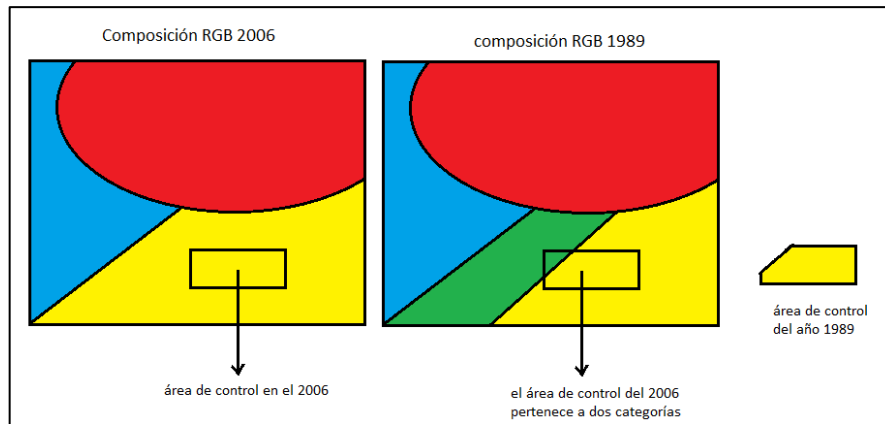


Fig. III.48 Caso hipotético en que el área de control del 2006 no sea válida para otro año anterior

En la figura III.48 se muestra un esquema de un caso hipotético en el que el área de control usada en el 2006 no es válida para el año 1989. El área de control en el año 1989 es errónea debido a que existe un uso (representado de color verde) que ocupa parte de esta superficie. Se recorta el área hasta que sea correcta según la composición RGB del año 1989. Tras el recorte, esta área de control representa correctamente a la categoría de la figura (representada en color amarillo) para el año de estudio 1989.

Y así, las áreas de control de las categorías del año en cuestión son los mismos polígonos que en el año 2006. Se empequeñece el área de control de una categoría cuando en la composición RGB de ese año se observa que parte del polígono no pertenece a esa categoría.

A partir de las áreas de control de cada categoría se crean las firmas espectrales propias. Las firmas espectrales representan espectralmente a cada una de las categorías en cada uno de los años. Es decir, existe una firma espectral por categoría y año.

3.3.2. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Usando como herramienta el programa procesador de imágenes se clasifica a las imágenes de satélite en el número de categorías definitivas, tal y como se explica al principio del apartado 3.3. Un clasificador duro de máxima probabilidad asigna todos los píxeles de la imagen a una categoría a través de las firmas espectrales generadas anteriormente.

Se obtienen dos mapas de usos y vegetación con las categorías definitivas de los años 1989 y 1999. Estos mapas se utilizan para el análisis temporal del distrito de Coixtlahuaca junto con el del 2006, como más adelante se describe.

4. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS PARA LAS AUTORIDADES DE COIXTLAHUACA

Uno de los objetivos más importantes del presente proyecto es dotar a las autoridades del distrito de un mapa de usos de suelo y tipos de vegetación preciso y actualizado.

Como se ha comentado anteriormente, el año 2006 es del que se dispone más información sobre la distribución en Coixtlahuaca de los usos y la vegetación. Por esta razón, y por ser relativamente reciente, el mapa de este año es el que se presenta a las autoridades del distrito. Previamente a su presentación definitiva, se le añade información de otros proyectos que lo hacen más completo que la clasificación supervisada simplemente. Esta información suplementaria se detalla en los párrafos siguientes.

La localización de los usos: agua y reforestaciones se encuentra disponible para el año 2008 en los proyectos fin de carrera de M^a Jesús Serra y M^a del Riego respectivamente. Ambos proyectos se encuentran incluidos en el programa contra la desertificación en el que también se encuentra el presente proyecto, tal y como se explica en la introducción. La delimitación de estas categorías se ha realizado manualmente sobre la composición RGB de la imagen del satélite SPOT de ese año, citado en la introducción del presente proyecto. Gracias a la complementariedad con estos proyectos se consigue que este mapa para las autoridades se presente de manera más completa.

Las categorías agua y reforestaciones no se clasifican en los mapas por las razones expuestas en el apartado 3.1. Para generar el mapa de las autoridades, se superponen las categorías agua y reforestaciones al mapa del 2006 obtenido en este proyecto. De esta manera, en el mapa para las autoridades figuran en la leyenda estas dos categorías, además de las del mapa de vegetación y usos, por considerarlas importantes para la gestión municipal.

Es importante señalar que el mapa está presentado en formato raster, resultado de la clasificación supervisada. El formato vectorial, la otra opción existente, delimita los usos y tipos de vegetación mediante líneas quebradas. Su uso corresponde de forma más común con la delimitación de fronteras artificiales claramente delimitadas, como municipios o provincias. En el presente proyecto se clasifica vegetación y usos del suelo, por lo que naturalmente aparecen masas de vegetación mezcladas. Por esta razón es más adecuado el uso del formato raster, a pesar de ser menos atractivo visualmente que un mapa en el formato vectorial. Se considera que es más apropiado para clasificar vegetación y usos del suelo.

La resolución del mapa para las autoridades es de 28,5 metros, al igual que el mapa de usos de suelo y vegetación del 2006.

5. ANÁLISIS ESPACIAL

El análisis espacial consiste en un análisis descriptivo que se realiza estudiando el mapa de vegetación y usos de las autoridades. Se estudia la superficie que ocupa cada categoría y su distribución en el distrito.

6. ANÁLISIS TEMPORAL

Este apartado es el punto en el que se intenta comprender los procesos de cambio de usos de suelo en el distrito de Coixtlahuaca entre 1989 y 1999. El análisis temporal está basado en la terna de mapas de vegetación y usos de los años 1989, 1999 y 2006, como ya se anticipó en apartados anteriores.

El análisis temporal de este proyecto está basado en la comparación pixel a pixel de los tres mapas de usos del suelo y vegetación. Para realizar de forma correcta el enfrentamiento de los tres mapas de vegetación y usos hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Los mapas de los años a comparar han de tener la misma resolución. De esta forma no cabe la posibilidad de que un pixel más grande de un año se tenga que comparar con otros cuatro más pequeños de otro año (ver figura III.49a). la resolución común es de 28,5 metros, como se comenta en apartados anteriores
- Han de tener el mismo número de filas y columnas. De esta forma se enfrenta la información de manera totalmente frontal (ver figura III.49).
- Las categorías incluidas en la leyenda deben ser las mismas en los tres mapas. Las categorías representadas en los mapas se deciden en el apartado 3.1.4 del proyecto: determinación de clases definitivas.

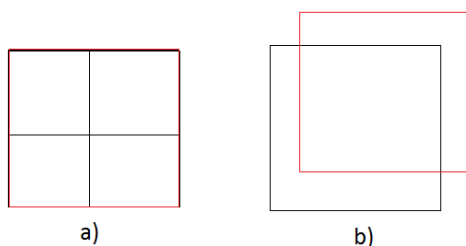


Fig. III.49 a) Ejemplo de distinta resolución, b) Ejemplo de píxeles no correctamente enfrentados

En este proyecto se estudia cómo se relacionan en el tiempo los distintos usos entre sí. En cuanto al uso forestal, a pesar de presentar información sobre los tipos de vegetación de Coixtlahuaca, no se estudia en profundidad los cambios entre tipos de vegetación. Únicamente se discuten aquellos cambios entre tipos de vegetación que se aprecien al comparar los tres mapas de los distintos años. Sin embargo, sí se considera temática del proyecto qué vegetación es más deforestada, o se recupera más, es decir, cambios entre tipos de vegetación y usos no forestales, como por ejemplo el agrícola.

Los periodos de tiempo que se estudian en el presente proyecto son dos: 1989-1999 y 1999-2006. En ellos se basan las matrices y mapas de cambio que se explican a continuación. Esta información, junto con la propia de cada mapa, es el material para realizar el análisis temporal.

Para cuantificar cambios se generan, mediante el programa procesador de imágenes, matrices de cambio. Estas matrices expresan el resultado de evaluar dos mapas de distintos años pixel a pixel. La evaluación informa de cuanto pixeles se han mantenido en la misma categoría en estos dos años comparados. Y a su vez establece la cifra de cambio, en pixeles, de cada categoría al resto de categorías y viceversa.

Los mapas de cambio presentan un formato raster y representan las transformaciones y permanencias de las categorías en dos mapas de distintos años de estudio. En la leyenda de este mapa generado existen tantas categorías como transformaciones y permanencias se den en este periodo de tiempo considerado. Cada pixel representa un cambio o una permanencia. Y así, por ejemplo, una categoría puede representar aquellos terrenos que han pasado de ser pastizales a suelo desnudo entre los años 1989 a 1999.

En el análisis temporal se pretende evaluar las tendencias de los usos en el periodo de estudio considerado. Es decir, se trata de analizar si aumentan o disminuyen sus superficies, y en el caso de que exista una tendencia, conocer a costa de qué otros usos principalmente se da el cambio. Por la importancia que presenta el uso forestal en este proyecto, se desglosa este uso en los tipos de vegetación existentes en el análisis con el resto de usos. A su vez, se intentan localizar los cambios más importantes usando como herramienta los mapas de cambio descritos en los párrafos anteriores. El proceso a seguir en cada uso del suelo se describe a continuación:

1. Obtención de superficies de cada uso

De los mapas de los años 1989, 1999 y 2006 se extrae el área de cada categoría en cada año mediante herramientas de los SIG. Tras su obtención, se representan en una gráfica lineal de dispersión los usos de Coixtlahuaca. Los tipos de vegetación quedan agrupados bajo el uso forestal. De esta manera se visualiza de forma global la tendencia de los distintos usos de Coixtlahuaca. Se representa en las ordenadas de dicha gráfica el área en km² y los años de estudio en abscisas. Una gráfica de dispersión establece en las ordenadas la distancia proporcional entre los años de estudio: 1989, 1999 y 2006.

2. Gráfica de barras para cada uso del suelo en la que aparecen tanto las conversiones al resto de usos como el proceso inverso.

En la gráfica de barras aparecen en el eje de abscisas todas las conversiones del uso en cuestión que se analiza. En este punto los tipos de vegetación se encuentran englobados bajo el uso forestal.

En el eje de ordenadas se representa la superficie en km² de cambio. Por último, para cada referencia del eje x existe una doble información expresada en una columna doble. Cada columna simboliza los dos periodos de tiempo que se tratan, el 1989-1999 y el 1999-2006.

Las graficas de barras obtenidas para cada uso del suelo descritas en el punto anterior muestran la información de cambio del uso en cuestión de manera visual y global. De esta manera se encuentra fácilmente cuál ha sido la causa del ascenso o descenso de su superficie en el periodo que se trate.

Por su ya comentada importancia, en el caso del uso forestal se analiza un subapartado dentro de este punto: qué grupos de vegetación son más afectadas por la deforestación y la reforestación de terrenos. Una vez conocida la tendencia del uso forestal y hacia qué usos presenta propensión de cambio, se analiza en profundidad esta transformación desglosando al uso forestal en los tipos de vegetación que existen en Coixtlahuaca. Para analizar este comportamiento se genera una grafica de barras similar a la descrita en el párrafo anterior que relaciona cada grupo de vegetación con el uso motivo de cambios. En ella se puede visualizar qué grupos de vegetación son los que más afectados por el cambio del uso forestal.

3. Localización de los cambios producidos en un mapa

En primer lugar se extrae del punto anterior qué usos son la principal causa de variación de la superficie del uso en cuestión.

Se genera un mapa para cada periodo (1989-1999 y 1999-2006) en el que se representan los cambios entre los dos usos que se pretenden representar, para reflejar la información de forma más directa. Se muestran como pixeles verdes las ganancias de superficie a costa del uso causa principal de variación, y en rojo las pérdidas. La superficie en color blanco simboliza terreno sin cambios entre ambos usos. En estos mapas generados se localiza en qué municipios del distrito se dan los principales cambios.

7. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL PRONÓSTICO DE PÉRDIDAS DE SUELO

Por su orografía accidentada, gran parte del territorio de la región Mixteca está expuesto a la erosión de suelos, y particularmente a la erosión por lluvia. Esto produce la pérdida de un recurso natural, que para fines prácticos, puede considerarse como no renovable: el suelo (Instituto Estatal de Protección Civil de Oaxaca, 2008).

La pérdida de suelo deriva en una gran cantidad de problemas para la población; dos de los más importantes son el descenso en la producción de los cultivos y la disminución de la infiltración de agua en los acuíferos, fuente de agua de la población. Otro problema a considerar a mayor escala, es la pérdida de capacidad en los embalses aguas abajo. Paradójicamente, el suelo "útil" que se pierde en las cuencas, es un problema en los embalses, pues reduce su capacidad de almacenamiento para riego, generación eléctrica, control de avenidas o disponibilidad de agua para consumo humano (Instituto Estatal de Protección Civil de Oaxaca, 2008).

En el distrito de Coixtlahuaca la superficie sin cubierta vegetal toma valores demasiado altos. El estrato herbáceo, arbustivo, arbóreo o una capa de hojas secas amortiguan la fuerza con la que llegan al suelo las gotas de lluvia que disgregan el suelo. El fenómeno de la disgregación es especialmente importante en esta región debido a que las tormentas son de carácter torrencial. En aquellas zonas donde no existe una cubierta vegetal, el suelo se encuentra totalmente desprotegido y expuesto a los fenómenos erosivos.

Por la importancia que presenta la erosión hídrica en este distrito, se predice en este apartado las pérdidas de suelo con objeto de plasmar la grave situación. Además, se establece una posible relación entre los cambios de uso de suelo desde 1989 y la erosión del distrito.

Para estimar la cantidad de suelo perdido por erosión se pueden aplicar varios modelos matemáticos, entre ellos el más utilizado es el RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada). RUSLE es, como su nombre indica, la revisión del modelo USLE. Éste ha sido aplicado a lo largo de todo el mundo para predecir la pérdida de suelo a causa de las precipitaciones y de la escorrentía superficial. Fue desarrollado en el año 1978 por Walter H. Wischmeier and Dwight D. Smith, del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Es importante indicar que RUSLE es un método empírico que evalúa la erosión hídrica pero que no la predice para tormentas en particular, ni años en

particular; sino que son pronósticos medios de erosión a lo largo de muchos años (Figueroa et al., 1999).

El modelo RUSLE presenta una serie de limitaciones, entre ellas se encuentra que no estima la erosión por flujo concentrado (cárcavas), ni estima el depósito de sedimentos (Figueroa et al., 1999). Por esta razón el modelo RUSLE se debe considerar como un modelo sencillo y orientativo de cálculo pérdidas de suelos el riesgo de erosión en una región y un evaluador de riesgos de erosión.

7.1. FACTORES DE LA ECUACIÓN RUSLE

La USLE establece que la predicción de la cantidad de suelo perdido por erosión hídrica en una hectárea al año es el resultado de seis factores:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde:

- A: Predicción de pérdida de suelo en $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$
- R: Erosividad de la lluvia en $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
- K: susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica $\text{ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$
- L: Factor longitud de pendiente, adimensional.
- S: Factor pendiente, adimensional.

Los factores L y S son denominados factor topográfico y se les determina de forma conjunta.

- C: Factor cobertura vegetal, adimensional.
- P: Factor prácticas de conservación, adimensional.

El método RUSLE incorpora, respecto al método USLE, la influencia del impacto de la convergencia del flujo. El factor de largo de la pendiente (L) es reemplazado por el área contribuyente pendiente arriba. El cálculo de este factor se obtiene por medio de estimaciones realizadas por un SIG (Mitasova et al., 1997). El modelo RUSLE es el método que se usa en este proyecto para estimar la pérdida de suelo por la erosión hídrica.

En este proyecto se parte de la hipótesis de que los factores del modelo no varían en el periodo de tiempo a estudiar a excepción del valor C, factor que indica la cobertura vegetal. De esta forma se determina como se modifican las predicciones de pérdidas de erosión con los cambios de uso del suelo entre 1989 y el 2006.

La metodología para obtener la predicción de pérdida de suelo en cada año de estudio consiste en crear un mapa raster por cada factor del modelo RUSLE. El resultado de multiplicar todos los mapas es la predicción de las toneladas perdidas por hectárea y año en cada pixel del mapa.

R, factor de erosividad de la lluvia

Definida como la agresividad de la lluvia sobre el suelo, representa la energía con que las gotas de lluvia, impactando contra el suelo, rompen los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable. La precipitación constituye el agente activo de la erosión (Colotti, 1999).

El índice usado en este proyecto para calcular el factor R es el EI_{30} . Wischmeier (1978) define EI_{30} como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) y la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) para eventos de lluvia, o R para expresarlo anualmente. EI_{30} mide el efecto en que la erosión por salpicamiento y la turbulencia del flujo se combinan con el escurrimiento para eliminar del terreno las partículas separadas de éste (Figueroa et al., 1999).

Para calcular este factor es necesario obtener datos de un pluviógrafo de registro automático. El pluviógrafo registra datos de las lluvias separando cada evento individualmente. En cada uno de ellos indica: fecha y hora de inicio, y milímetros caídos en cada minuto.

La intensidad de lluvia se calcula fácilmente dividiendo los milímetros caídos entre los minutos y multiplicándolo por 60 para que se mida en mm/h.

En Coixtlahuaca existen estaciones meteorológicas que cuentan con pluviómetros que cuantifican únicamente la cantidad total de precipitación, pero no su distribución en el tiempo. Para calcular el factor R se obtuvieron los datos de precipitación de la estación meteorológica con pluviógrafo más cercana, San Sebastián del Progreso (fig.III.50). Además, para obtener un factor R más correcto, se efectúa la media entre los dos valores de R del 2008 y del 2009.

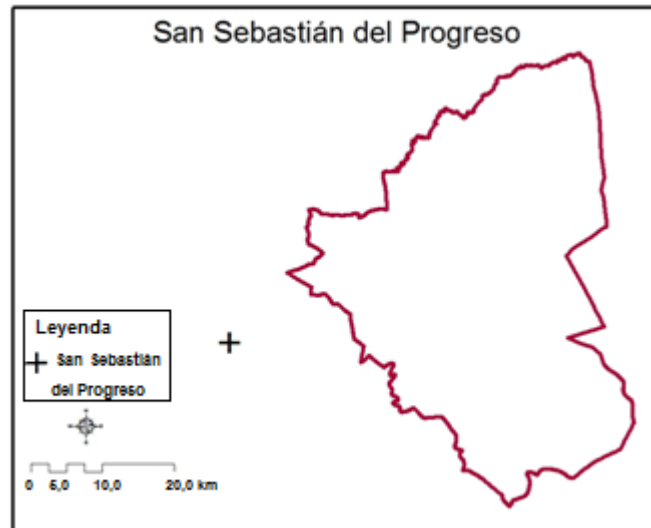


Fig. III.50 Localización del pluviógrafo respecto al distrito de Coixtlahuaca

El factor R del modelo RUSLE se calcula de la siguiente manera:

$$R = \sum_{i=1}^m (EI_{30})_i$$

Donde:

1. R es el factor de erosividad de la lluvia o índice de erosividad anual (MJ mm/ha h año)
2. m es el número de eventos de lluvia erosivos durante el año. Según López et al. (2008) si transcurren más de seis horas entre dos intervalos de tiempo con lluvia, se consideran dos eventos diferentes. Según el mismo autor para que un evento sea considerado erosivo la precipitación acumulada tiene que ser mayor o igual a 12,7 mm.
3. EI_{30} es el índice de erosividad para un evento de lluvia (MJ*mm/ha*h). Se calcula mediante la siguiente ecuación para cada evento de lluvia:

$$EI_{30} = E * I_{30}$$

- 3.1. I_{30} es la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (mm/h)

Para cada evento se busca los milímetros máximos precipitados en un minuto. A partir de ella va hacia atrás hasta completar los 29 minutos restantes. Se suman las precipitaciones en los 30 minutos y se multiplica por dos para obtener la I_{30} en mm/h.

- 3.2. E es la energía cinética total de la lluvia (MJ/h). se calcula de la siguiente manera:

$$E = \sum_{j=1}^n e_j \cdot p_j$$

- n es el número minutos que dura el evento de lluvia
- p_j es la cantidad de lluvia en el intervalo de un minuto (mm/min)
- e_j es la energía cinética para cada minuto del evento (MJ/ha.mm.min)

Se calcula e_j usando la ecuación (Wischmeier y Smith, 1978):

$$e_j = 0.119 + 0.0873 \cdot \log_{10} I_j : I_j < 76 \text{ mm/h}$$

$$e_j = 0.283 : I_j > 76 \text{ mm/h}$$

Donde I_j es la intensidad de la lluvia en el minuto del evento considerado en mm/h. Se calcula como: $p_j \text{ (mm/min)} \cdot 60 \text{ min/h}$.

El valor de e_j se vuelve constante para intensidades mayores de 76 mm/h pues se considera que a intensidades mayores, el tamaño de las gotas ya no se incrementa (Wischmeier y Smith, 1978).

Además de poder calcular el factor de la erosividad de la lluvia R mediante este complejo índice se puede calcular mediante ecuaciones. De esta forma México está dividido en 14 regiones diferentes en cuanto a la erosividad de la lluvia. Para cada una de ellas existe una ecuación que estima el valor de R de la ecuación RUSLE en función de la precipitación anual (Cortes, 1991) (Fig.III.51).

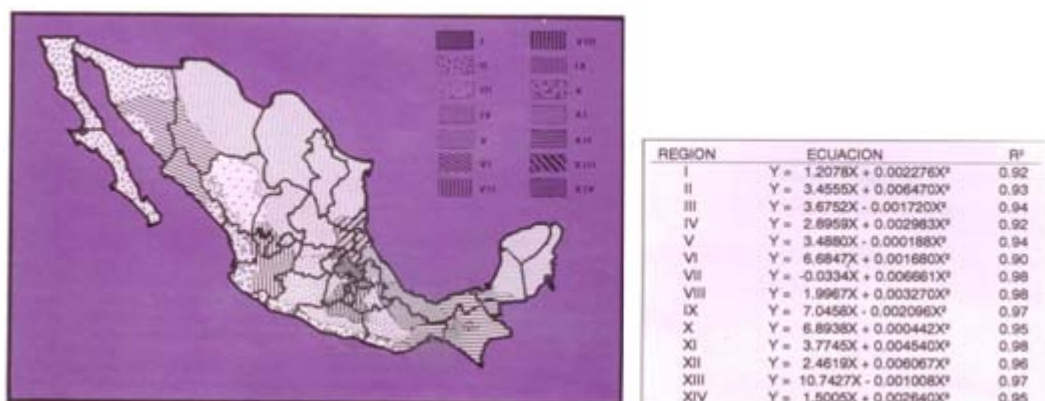


Fig. III.51 Ecuaciones en México para calcular R (Cortes, 1991)

Coixtlahuaca se encuentra al noroeste de Oaxaca, en la región V, por lo que la ecuación según la figura III.51:

$R = 3,4880 * X - 0,000188 * X^2$, siendo X la precipitación anual en mm.

En este proyecto se utiliza el valor de R obtenido mediante el pluviógrafo ya que se considera que el valor obtenido a través de él es más acertado y adaptado al distrito de estudio.

Una vez determinado el valor de R, se crea en ArcGis 9.2 un mapa en formato raster con resolución de 28,5 metros, con celdillas con su valor para toda Coixtlahuaca.

K, susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica

El factor K se define como la tasa de pérdida de suelo por cada unidad adicional de EI_{30} cuando L, S, C y P permanecen constantes y son iguales a 1. Se expresa en $ton.ha.h/ha.MJ.mm$

Su valor se ha calculado a partir de la metodología propuesta por la FAO (1980). Y así el valor de K se obtiene a partir de la textura superficial (utilizando como grupos texturales: textura gruesa, media y fina) y la unidad de suelo a la que pertenece según la clasificación FAO/UNESCO tal y como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla III.18 Valor de K para cada tipo de suelo según la clasificación FAO y para cada clase textural (Figuerola et al., 1999)

TEXTURA				TEXTURA			
ORDEN	G	M	F	ORDEN	G	M	F
A	0.026	0.040	0.013	Lo	0.026	0.040	0.013
Af	0.013	0.020	0.007	Lp	0.053	0.079	0.026
Ag	0.026	0.040	0.013	Lv	0.053	0.079	0.026
Ah	0.013	0.020	0.007	M(a,g)	0.026	0.040	0.013
Ao	0.026	0.040	0.013	N(d,e,h)	0.013	0.020	0.007
Ap	0.053	0.079	0.026	O(d,e,x)	0.013	0.020	0.007
B	0.026	0.040	0.013	P	0.053	0.079	0.026
Bc	0.026	0.040	0.013	Pf	0.053	0.079	0.026
Bd	0.026	0.040	0.013	Pg	0.053	0.079	0.026
Be	0.026	0.040	0.013	Ph	0.026	0.040	0.013
Bf	0.013	0.020	0.007	Pl	0.026	0.040	0.013
Bg	0.026	0.040	0.013	Po	0.053	0.079	0.026
Bh	0.013	0.020	0.007	Pp	0.053	0.079	0.026
BK	0.026	0.040	0.013	Q(a,c,f,l)	0.013	0.020	0.007
Bv	0.053	0.079	0.026	R	0.026	0.040	0.013
Bx	0.053	0.079	0.026	Re	0.026	0.040	0.013
C(g,h,k,l)	0.013	0.020	0.007	Re	0.013	0.020	0.007
D(d,e,g)	0.053	0.079	0.026	Rd	0.026	0.040	0.013
E	0.013	0.020	0.007	Rx	0.053	0.079	0.026
F(a,h,o,p,r,x)	0.013	0.020	0.007	S	0.053	0.079	0.026
G	0.026	0.040	0.013	Sg	0.053	0.079	0.026
Gc	0.013	0.020	0.007	Sm	0.026	0.040	0.013
Gd	0.026	0.040	0.013	So	0.053	0.079	0.026
Ge	0.026	0.040	0.013	T	0.026	0.040	0.013
Gh	0.013	0.020	0.007	Th	0.013	0.020	0.007
Gm	0.013	0.020	0.007	Tm	0.013	0.020	0.007
Gp	0.053	0.079	0.026	To	0.026	0.040	0.013
Gx	0.053	0.079	0.026	Tv	0.026	0.040	0.013
Gv	0.053	0.079	0.026	U	0.013	0.020	0.007
H(c,g,h,l)	0.013	0.020	0.007	V(c,p)	0.053	0.079	0.026
I	0.013	0.020	0.007	W	0.053	0.079	0.026
J	0.026	0.040	0.013	Wd	0.053	0.079	0.026
Je	0.013	0.020	0.007	We	0.053	0.079	0.026
Jd	0.026	0.040	0.013	Wh	0.026	0.040	0.013
Je	0.026	0.040	0.013	Wm	0.026	0.040	0.013
Jt	0.053	0.079	0.026	Ws	0.053	0.079	0.026
Jp	0.053	0.079	0.026	Wx	0.053	0.079	0.026
K(h,k,l)	0.026	0.040	0.013	X(h,k,l,y)	0.053	0.079	0.026
L	0.026	0.040	0.013	Y(h,k,l,y,i)	0.053	0.079	0.026
La	0.053	0.079	0.026	Z	0.026	0.040	0.013
Lc	0.026	0.040	0.013	Zg	0.026	0.040	0.013
Lf	0.013	0.020	0.007	Zm	0.013	0.020	0.007
Lg	0.026	0.040	0.013	Zo	0.026	0.040	0.013
Lk	0.026	0.040	0.013	Zt	0.053	0.079	0.026

Donde: La textura se clasifica en G = Gruesa; M = Media; F = Fina

Los leptosoles lítico, háplico y rendzico se corresponden con lo que se denominaba Litosol (I) y Rendzina (E) cuando FAO (1980) elaboró la tabla III.18. Tanto las Rendzinas como los Litosoles presentan en esta tabla anterior los mismos valores en cada tipo de textura. Por lo que no surgen problemas en cuanto al cambio de nomenclatura.

El valor de K del Leptosol nudilítico no se encuentra en la tabla III.18. Además, no se dispone de información cartográfica de las distintas formas del Leptosol nudolítico en Coixtlahuaca: caliche y material volcánico incoherente, explicados en la descripción física del medio. Por esta razón se les agrupa a ambos bajo un mismo valor de K con un valor elevado a causa de su susceptibilidad a la erosión hídrica. Su valor es estimado en base a la textura de estos materiales y su alta disgregabilidad.

La información acerca de los suelos de Coixtlahuaca proviene del proyecto Fin de Carrera de María Jesús Serra (2010), dentro del programa en el que se enmarca este proyecto. Dicho proyecto proporciona información tanto de la localización en el distrito de los tipos de

suelos como de su textura. El mapa de suelos de Coixtlahuaca se encuentra en el apartado de descripción física del medio.

El mapa de suelos de Serra (2010) se encuentra en formato vectorial. Para el procesamiento de datos se convierte en un mapa formato raster con la misma resolución que el resto de mapas de los factores del modelo RUSLE: 28,5 metros. Finalmente se reclasifica cada suelo con el factor K correspondiente.

L•S, factor topográfico

El factor topográfico establece el aporte del factor topográfico a la erosión hídrica. Para el cálculo del factor LS en un punto de una pendiente $r = (x,y)$ (Mitasova et al., 1997) es:

$$LS(r) = (m + 1) \cdot [A(r)/a_0]^m \cdot [\sin b(r)/b_0]^n$$

Donde A es el área contribuyente pendiente arriba, b es la pendiente en grados, m y n son parámetros que se explican en el párrafo siguiente, $a_0 = 22,1$ m es el largo de la pendiente y $b_0 = 0.09 = 9\% = 5,16^\circ$ es la pendiente del terreno estándar de RUSLE.

Los típicos valores para m oscilan entre 0,4 y 0,6 y para n entre 1,0 y 1,4, dependiendo el tipo de flujo predominante. Los exponentes m y n pueden ser calibrados si existen datos para el tipo de flujo predominante y las condiciones de suelo. Valores más bajos deben ser usados en zonas donde predominan flujos más dispersos que provocan erosión laminar y los valores más altos son usados en zonas donde predomina un flujo más turbulento causando erosión en surcos (Santibáñez y Zúñiga, 2006). En este proyecto, al existir ambos tipos de flujos, y no disponer de datos para calibrarlos, se usarán los valores típicos antes mencionados: $m = 0,4$ y $n = 1,4$.

Para obtener el valor de b de la ecuación anterior es necesario disponer de un mapa topográfico de la región, o un Modelo Digital de Elevaciones. Se trabaja con este último para determinar $L \cdot S$ mediante los SIG. Y así, se elabora mediante el módulo Spatial Analyst del ArcGis 9.2 un mapa raster de pendientes (en grados) a través del MDE. Éste se incluye directamente en la fórmula anterior multiplicándolo previamente por 0,01745 para convertir los grados en radianes.

La $A(r)$ es el área contribuyente aguas arriba y se calcula asimismo mediante el módulo Spatial Analyst introduciendo en la calculadora raster la siguiente expresión:

$\text{FlowAccumulation}(\text{FlowDirection}([\text{mdeCoixtlahuaca}])) * \text{resolución del mapa (m)}$

Con esta expresión se calcula el área que converge hacia ese punto en concreto, una “cuenca” de cada punto aguas arriba. Para su cálculo se utilizan los módulos de los SIG de dirección de red de drenaje (*flowdirection*) y de acumulación (*flowaccumulation*) de ésta a partir del modelo digital de elevaciones.

Para obtener el mapa formato raster del factor topográfico se utiliza de nuevo la calculadora raster. Se introducen en esta herramienta de los SIG los valores y factores anteriormente indicados según la fórmula descrita por Mitsova et al. (1997).

C, factor cobertura vegetal

El factor C recoge la influencia de la cobertura vegetal sobre el suelo disminuyendo la fuerza erosiva de las precipitaciones. La cobertura no sólo reduce la energía con la que llegan las gotas de lluvia a la superficie del suelo, sino también la velocidad de la escorrentía superficial al aportar residuos vegetales, ya que existe mayor rugosidad.

Wischmeier y Smith (1978) proporcionan una serie de tablas para el cálculo del factor de la cobertura vegetal. Para cultivos agrícolas el factor C depende de muchos factores entre los que se encuentran la especie cultivada, como se distribuye la lluvia a través del año, prácticas agrícolas, etc. Para la vegetación permanente, como son árboles, arbustos y malezas, el factor C se obtiene de la tabla III.19. Se puede observar en ella que ofrece más protección al suelo un terreno cubierto por un pastizal denso que un bosque con árboles altos sin matorral de sotobosque que lo ponga en contacto con el suelo.

Tabla III.19 Valor del factor C para coberturas forestales (Wischmeier y Smith (1978))

Cobertura aérea		Cobertura en contacto con la superficie del suelo						
Tipo y altura	Porcentaje de cobertura	Porcentaje de cobertura						
		Tipo *	0	20	40	60	80	95
Cobertura no apreciable		P	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
		M	0.45	0.24	0.15	0.091	0.043	0.011
Malezas altas o arbustos con altura promedio de caída de gotas de 50 cm	25	P	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
		M	0.36	0.20	0.13	0.083	0.041	0.011
	50	P	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
		M	0.26	0.16	0.11	0.076	0.039	0.011
	75	P	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
		M	0.17	0.12	0.09	0.068	0.038	0.011
Arbustos numerosos con alturas promedio de caída de gotas de 2 m	25	P	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		M	0.40	0.22	0.14	0.067	0.042	0.011
	50	P	0.34	0.16	0.08	0.038	0.012	0.003
		M	0.34	0.19	0.13	0.062	0.041	0.011
	75	P	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
		M	0.28	0.17	0.12	0.078	0.040	0.011
Arboles sin arbustos. Promedio de caída de gotas de 4 m	25	P	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
		M	0.42	0.23	0.14	0.069	0.042	0.011
	50	P	0.39	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		M	0.39	0.21	0.14	0.067	0.042	0.011
	75	P	0.36	0.17	0.09	0.039	0.012	0.003
		M	0.36	0.20	0.13	0.064	0.041	0.011

* P: Pastos, M: Malezas.

Cada categoría de este proyecto presenta un valor de C según la tabla III.19. Y así, los mapas de usos de suelo y tipos de vegetación de los años 1989, 1999 y 2006 son los que determinan el valor de C en cada pixel y para cada año. El valor del uso agricultura se obtiene a su vez de esta tabla, asimilable a un pastizal con cobertura incompleta, ya que no se dispone de la información cartográfica antes mencionada de qué cultivos existen en Coixtlahuaca.

El terreno sin vegetación tendrá asociado un valor del factor C de 1, ya que ninguna cobertura vegetal reduce la energía de las precipitaciones y de la escorrentía.

Factor P, prácticas de conservación

El valor de P para un determinado tipo de práctica de conservación expresa la relación entre la cantidad de suelo perdido, utilizando la práctica de conservación que se lleva a cabo, y la que se perdería labrando según la máxima pendiente. Estas prácticas de control combaten la erosión, puesto que modifica los patrones de flujo y el grado o dirección de superficie de escurrimiento (Antezana, 2001).

A lo largo de la historia de Coixtlahuaca se han realizado numerosas actuaciones para reducir la erosión hidráulica en la zona y aumentar la infiltración en el suelo. Algunas de ellas forman parte de algún programa del gobierno o comisión hidrográfica, mientras que otras son prácticas agrícolas propias de la población. Según el proyecto fin de carrera de Carlos Jiménez Barrios del 2010 sobre obras hidráulicas en Coixtlahuaca, incluido en el programa contra la

desertificación varias veces mencionado, existen en el distrito las siguientes prácticas para controlar la erosión:

Zanjas bordo: Consisten en excavación y eliminación de suelo a cielo abierto en líneas paralelas a las curvas de nivel. Son obras o prácticas mecánicas que se utilizan preferentemente para recuperación de suelos.



Fig. III.52 Zanja Bordo en el municipio de San Miguel Tulancingo. (Fuente: Carlos Jiménez Barrios)

Roturaciones: es un subsolado a profundidad variable para facilitar la entrada de agua en el suelo.

Terrazas: son cortes sucesivos de la ladera, a modo de escalones, que permiten aprovechar el espacio horizontal de un terreno, constituyendo el medio mecánico más antiguo de protección contra la erosión de suelos. Es una tecnología agrícola ancestral que permite utilizar racionalmente las laderas de terrenos de fuertes pendientes (Santibáñez y Zúñiga, 2006).



Fig. III.53 Terrazas en Santiago Ihuatlán Plumas de aproximadamente cinco metros de ancho (Fuente: Carlos Jiménez)

Tinas ciegas: Son una variación de las zanjas bordo y consisten en interrumpir la continuidad de la construcción de las zanjas, dejando un tramo ciego cuyo valor o distancia depende de las condiciones de escurrimiento de la zona en cuestión. Las tinas ciegas se construyen de manera discontinua sobre una curva a nivel y en forma perpendicular a la pendiente del terreno (Jiménez, 2010).

Cultivos en contorno: son aquellos cultivos en los que los surcos de plantación o siembra están paralelos a las curvas de nivel, impidiendo en parte el libre discurso del agua por los terrenos.

Bordos: Los bordos son estructuras de material de tierra expuestas a la acción dinámica del agua, frenando parcialmente circulación y favoreciendo su infiltración. Para su construcción se procede acumulando tierra desde la parte interior y exterior de la vía de conducción. Según las herramientas disponibles el bordo es compactado o no. Se diferencia de las terrazas en que éstos no modifican la pendiente de las laderas.

La localización en Coixtlahuaca de la mayoría de estas prácticas de control de la erosión proviene del Proyecto antes citado de Carlos Jiménez sobre obras hidráulicas. El resto de prácticas de control de la erosión se delimitan en ArcGis 9.2 con ayuda de: trabajo de campo con anotaciones en el programa Google Earth y la RGB del año 2006. Se dispone de información de alguna de las obras en cuanto a qué tipo son y sus características, pero no de todas. Por esta razón se ha agrupado a las prácticas contra la erosión bajo un único valor del factor P, como terreno en el que existen prácticas de conservación. El valor de P se calcula

como un promedio en base a los tipos de obras que existen que minimice la predicción de erosión en estas zonas.

7.2. MAPAS DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO

Después de calcular los factores en el anterior apartado, en la calculadora raster se procede a multiplicar pixel a pixel todos los mapas con cada factor, obteniendo para cada celdilla el valor de predicción de pérdida de suelo descrito por el modelo RUSLE. Como ya se comentó anteriormente, sólo varía el factor C entre los años de estudio, al pretender ilustrar como varían las pérdidas de suelo con la evolución de usos de suelo en Coixtlahuaca. De este modo se obtiene un mapa para cada año que muestra la predicción de pérdidas de suelo con resolución de 28,5 metros.

Se calculan las pérdidas de suelo de la totalidad de la región de Coixtlahuaca para cada año, para realizar su comparación y análisis (es necesario indicar que este valor es orientativo según la definición del modelo RUSLE). Para obtener este cálculo convertimos la capa de pérdidas de suelo en formato raster a un archivo “.dbf” y así poder trabajar con los datos en una hoja de cálculo Excel.

Se procede a continuación a realizar la siguiente operación, cuyos valores se explican en el párrafo siguiente:

$$\text{VALUE} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha} \cdot \text{año}} \right) \cdot \text{COUNT} \cdot 28,5^2 \text{ m}^2 \frac{1 \text{ ha}}{10^4 \text{ m}^2} = \left[\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]$$

En la tabla Excel recién creada aparecen dos columnas, una llamada VALUE con el valor de la erosión en $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y otra llamada COUNT con el número de celdillas con ese valor de pérdidas por erosión, adimensional. Al multiplicarlas columna con columna según la operación anterior, resultan las toneladas al año que se pierden de ese valor de erosión. Al hacer un sumatorio de todos los valores obtenemos la estimación de pérdidas de suelo para ese año concreto en toneladas.

Como resultado de este cálculo se obtienen tres cifras que indican de forma orientativa las toneladas perdidas al año en Coixtlahuaca por erosión hídrica correspondientes a los tres años de estudio 1989, 1999 y 2006.

En este proyecto se estudia la evolución de las pérdidas de suelo en Coixtlahuaca de dos formas:

a) Comparación de las cifras de pérdidas de suelo en todo el distrito para los distintos años de estudio con el análisis temporal de los usos de Coixtlahuaca.

b) Comparación de los resultados obtenidos en cada año con las cifras de referencia establecidas por FAO y PNUMA (1980) en función del grado de erosión hídrica registrado en cada hectárea del distrito (Salomón, 2009).

Tabla III.20 Grado de erosión hídrica según la pérdida de suelo en ton/ha.año (FAO y PNUMA, 1989)

Pérdida de suelo (ton/ha. año)	Grado de erosión hídrica
< 10	Ninguna o ligera
10 - 50	Moderada
50 - 200	Alta
> 200	Muy alta

IV. RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados del proyecto “Análisis espacial y temporal del uso del suelo en Coixtlahuaca, Oaxaca, México”. Los resultados comienzan con el apartado correspondiente al mapa de usos y vegetación del año 2006 debido a que los resultados parciales obtenidos en él son base de los apartados que siguen.

1. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS AÑO 2006

1.1. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Tras la revisión bibliográfica y el trabajo de campo se decide incluir once categorías en los mapas de usos y vegetación de Coixtlahuaca. Se realiza la clasificación supervisada de la imagen de satélite del 2006 en base a las áreas de control de cada una de las categorías. El resultado de la clasificación supervisada de la imagen del 2006 se muestra en la figura IV.1.

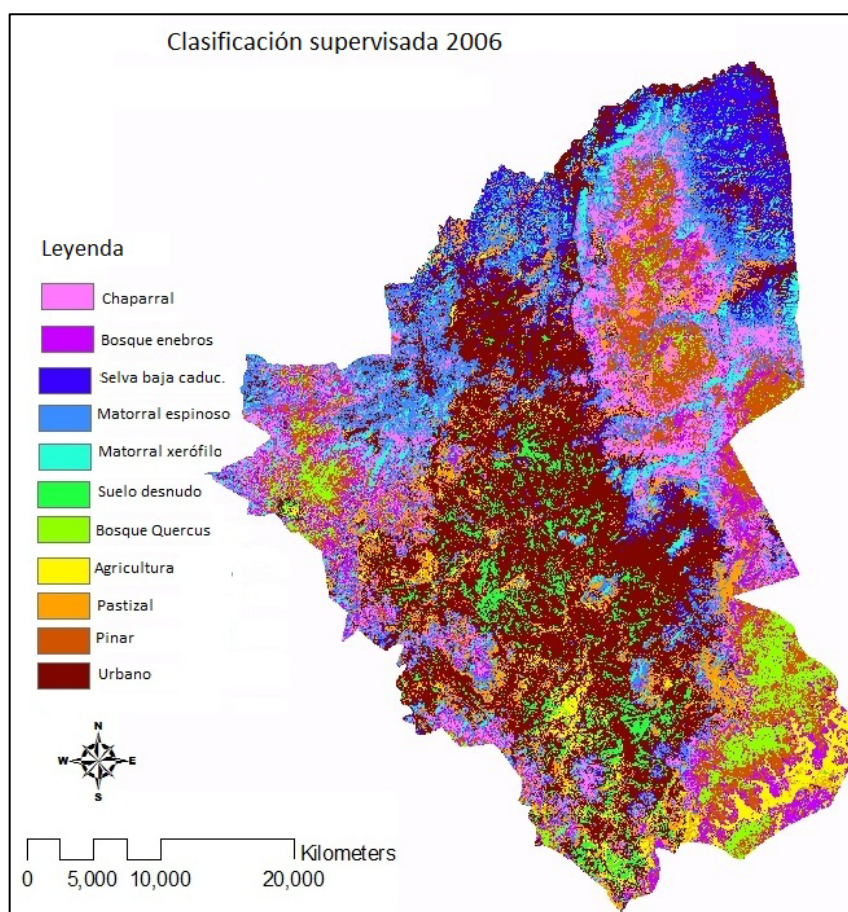


Fig. IV.1 Clasificación supervisada de la imagen de satélite del año 2006

Tabla IV.1 Superficie de cada categoría en la imagen clasificada 2006

Categoría	Superficie (ha)	% respecto Coixtlahuaca
Chaparral	16.102,8	9,54
Bosque de enebros	11.318,31	6,70
S baja caducifolia	12.502,35	7,40
Mat espinoso	22.532,49	13,34
Mat xerófilo	7.618,23	4,51
Suelo desnudo	6.759,72	4,0
Bosque de Quercus spp.	7.165,80	4,24
Agricultura	5.896,53	3,49
Pastizal	12.544,29	7,43
Pinar	15.009,48	8,89
Urbano	51.413,04	30,45
	168.863,04	100,00

El uso con mayor superficie según esta clasificación resulta ser el urbano, que ocupa en el distrito más de un 30 %. Los siguientes usos mayoritarios son el Matorral espinoso y el Chaparral.

1.2. DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DEFINITIVAS

La imagen clasificada de la figura IV.1 no se puede considerar como el mapa definitivo de vegetación y usos del suelo del 2006, es necesario evaluar la bondad de la clasificación efectuada.

Según lo correctamente que se clasifiquen las categorías en este año se toma la decisión de continuar con todas las categorías decididas en el apartado 3.1 de Material y Métodos o descartar alguna debido a una errónea clasificación. Se recuerda que el año 2006 es el año para el que se dispone más información en cuanto a la distribución de usos y vegetación. El material disponible para el año 2006 en cuanto a este aspecto, además del trabajo de campo, consiste en la imagen Google Earth y la composición RGB correspondiente. Por esta razón se considera que la clasificación del año 2006 es sobre la que mejor se realiza la determinación de categorías definitivas.

El descarte de categorías, tal y como se explica en la metodología, no consiste en eliminar los píxeles de la imagen clasificada correspondientes a ese uso concreto que se clasifica incorrectamente (fig. IV.1). Consiste en realizar varias clasificaciones, únicamente el último punto de la clasificación supervisada (sin delimitar nuevas áreas de control, etc.), hasta

clasificar aquellas categorías cuya distribución se considere correcta en Coixtlahuaca. Esta consideración mencionada está basada en trabajo de campo y la imagen Google Earth. La figura IV.1 representa la primera clasificación realizada.

Analizando las superficies de cada categoría de la imagen clasificada del 2006 (tabla IV.1) se pueden observar varios porcentajes incorrectos a primera vista por alguien conocedor del terreno. El uso urbano es la categoría más llamativa; esta categoría ocupa en la imagen clasificada más del 30%. Este porcentaje es claramente erróneo, además de por el conocimiento de la zona, porque se aleja mucho de la distribución de este uso en Coixtlahuaca en el proyecto de M^a Jesús Serra, previamente citado, que indica que su superficie constituye menos del 1%. Para el caso del uso suelo desnudo ocurre lo contrario, su asignación es escasa en un distrito que tristemente destaca por su degradación y ausencia de vegetación.

A continuación se muestra en la tabla IV.2 un adelanto de los resultados con vistas a una facilitación de la comprensión del resto del apartado. La tabla IV.2 es resultado de lo explicado en la metodología, y de lo que más adelante se razona. Se presentan las categorías que existen en la imagen clasificada y las que existen en el mapa de usos de suelo y vegetación definitivo del 2006 tras la evaluación. Algunas se han agrupado debido a los motivos que se razonan posteriormente.

Tabla IV.2 Usos clasificados en el mapa 2006 de usos de suelo y vegetación, iniciales y definitivos

Usos del suelo iniciales	Usos del suelo definitivos
Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia
Pastizal	Pastizal Agricultura
Agricultura	
Enebro	Chaparral-Enebro
Chaparral	
Suelo desnudo	Suelo desnudo
Urbano	Uso descartado
Matorral espinoso	Matorral espinoso
Matorral xerófilo	Matorral xerófilo
Encino	Encino
Pino	Uso descartado

En los siguientes párrafos de este apartado se describen las razones por las que se desecha el uso urbano y el tipo de vegetación pinar, o se agrupan usos de suelo en categorías mixtas. Estas decisiones se basan en trabajo de campo, en razones de incompetencia climática y en la imagen Google Earth; tal y como se describe en el apartado correspondiente de la metodología.

Por el tipo de clasificador usado en este proyecto todos los píxeles tienen asignados una categoría, sin dejar ninguno sin clasificar. Los usos descartados del mapa, tal y como se muestra en la tabla IV.2, son el uso urbano y el pinar. En las localizaciones de estos usos el mapa clasifica otro uso erróneo debido a que no están en la leyenda. Esto no constituye un error importante debido a que su extensión en Coixtlahuaca es muy escasa respecto a la superficie total del distrito, como más adelante se razona.

Uso urbano

Observando la figura IV.1 y teniendo en cuenta las salidas al distrito de estudio se decide no clasificar el uso urbano en los mapas de uso y vegetación de Coixtlahuaca. Esta decisión está tomada en base a la asignación excesiva de uso urbano (30% de Coixtlahuaca) que se da en un distrito mayoritariamente rural en el que viven poco menos de 9.000 personas. El sentido común y las salidas de verificación confirman la asignación excesiva del uso.

Aunque el uso urbano no se ha podido clasificar en los mapas, su distribución en Coixtlahuaca se incluye en el mapa para las autoridades. Su distribución se consigue apoyándose en el resto de los trabajos que complementan el Proyecto.

Pinar

En las rutas de reconocimiento del paisaje y de la vegetación realizadas por el distrito de Coixtlahuaca no se localizaron pinares. Se recuerda que con el fin de localizar la distribución del pinares en Coixtlahuaca se usa un área de control en las inmediaciones, en San Miguel Chicahua, para conocer si existen o no pinares en este distrito. El programa procesador de imágenes, como consecuencia de las áreas de control marcadas, establece la distribución de este tipo de vegetación que aparece en la figura IV.2.

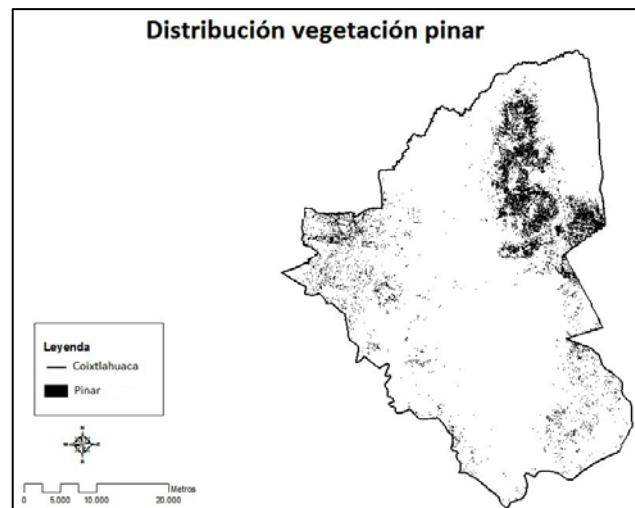


Fig. IV.2 Distribución hipotética de los pinares en la imagen clasificada del 2006

En las salidas al campo y en la imagen Google Earth se observa que las asignaciones de pinar al noreste, al sureste y al oeste del distrito son principalmente Bosque de *Quercus* spp. o Chaparral. Por existir demasiadas asignaciones incorrectas, los pinares no figuran en la leyenda definitiva de los mapas de este proyecto. No obstante, como se ha podido observar en las sucesivas salidas al distrito, no ocupa grandes superficies en Coixtlahuaca.

Además, por ser el pinar un tipo de vegetación, en su mayor parte se clasificará, en cualquier caso, como uso forestal y no como suelo desnudo o agricultura o pastizal. Esto es debido a que la reflectancia de un pinar es más similar a la de un Bosque de enebros o cualquier otro tipo de vegetación que a un uso tan diferente como la agricultura o el suelo desnudo por ejemplo. De esta forma en el análisis temporal, con bastante probabilidad, el pinar constituye parte del uso forestal y no se pierde información.

Enebro

La distribución de esta categoría en la imagen clasificada del 2006, tras las verificaciones en campo y la imagen Google Earth, se observa que excede a la localización real de los enebrales. Por esta razón no se incluirá como tal en la clasificación definitiva.

Analizando la distribución de esta categoría, se observa que se clasifican muchos píxeles en Chaparrales. En la distribución del tipo de vegetación Chaparral ocurre de modo similar y se clasifican muchos píxeles como enebrales.

Uniando las dos distribuciones en una sola, el tipo de vegetación chaparral-enebral clasifica a ambos de manera correcta. El nombre doble que presenta no simboliza un bosque mixto, sino que bajo su extensión hay píxeles de los dos tipos de vegetación. Debido a que la extensión del chaparral es mucho mayor, el nombre de este tipo de vegetación “conjunta” en este proyecto es únicamente chaparral.

Selva baja caducifolia y Matorral espinoso

En la parte más septentrional de Coixtlahuaca es donde existe el clima más cálido; y es en esta zona donde se puede localizar la Selva baja caducifolia.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, algunos píxeles que aparecen en la región meridional están mal atribuidos por ser climas más fríos. No se desecha este uso en la clasificación final por mala asignación ya que la atribución en el norte es coherente. Como solución se sustituyen los píxeles del sur de Coixtlahuaca por Matorral espinoso según un criterio de altitud. El Matorral espinoso es el tipo de vegetación más parecido fisiológicamente a la Selva baja caducifolia.

El criterio para decidir donde deja de existir la Selva baja caducifolia para darse Matorral espinoso es a partir de los 1.800 metros de altitud (Rzedowski, 2006).

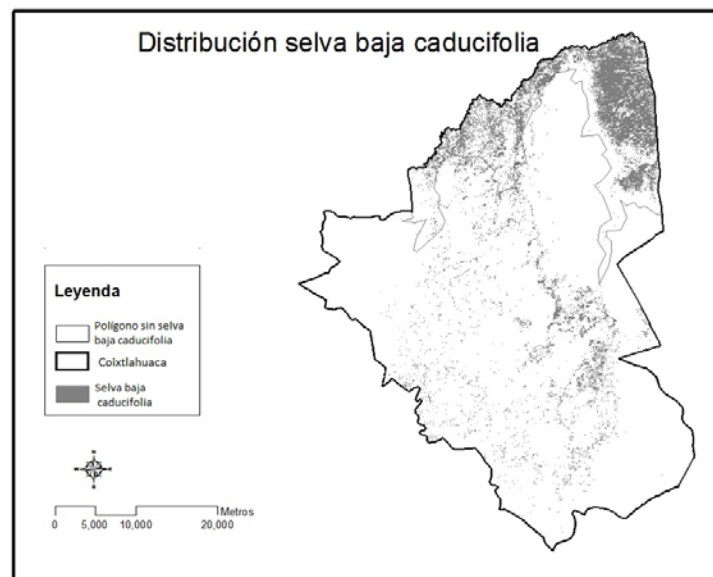


Fig. IV.3 Distribución de la Selva baja caducifolia en la imagen clasificada del 2006. La parte sur dentro del polígono es sustituida por matorral espinoso.

Para el caso del Matorral espinoso se procede de forma similar a la Selva baja caducifolia. La gran mayoría de la distribución de este tipo de vegetación en la imagen clasificada 2006 es correcta según el trabajo de campo y la imagen Google Earth. Sin embargo, existen una serie de píxeles en la parte septentrional del distrito que se encuentran mal clasificados, por ser zona de clima cálido. Se sustituyen por Selva baja caducifolia de igual forma que se procede con esta clase pero a la inversa.

Pastizal y agricultura

En base al conocimiento que se tiene del paisaje de Coixtlahuaca por las salidas al distrito y la imagen Google Earth, se observa que no se clasifican bien el uso agricultura y pastizal individualmente en la imagen clasificada del 2006. No obstante, al observar que se confundían las asignaciones entre ellas, se ha incluido en la leyenda definitiva una categoría definitiva y conjunta Pastizal – Agricultura. De esta forma se asegura la correcta localización de ambas de igual forma que ocurre en Chaparral - Enebral.

Aunque no se han podido clasificar en los mapas individualmente, la distribución del uso agrícola en Coixtlahuaca se incluye en el mapa para las autoridades, apoyándose en trabajos complementarios al presente proyecto, según se explica en metodología. Al superponer el uso agrícola en el mapa para las autoridades, el resto de la distribución conjunta corresponde al uso pastizal. La distribución en el distrito de ambos no se evalúa en el análisis temporal pero sí en el espacial.

El resto de clases se consideran, tras su evaluación, bien clasificadas y se incluyen en la leyenda definitiva. A pesar de la pérdida de información que supone no clasificar algunas categorías, no se pierde importante información para los objetivos del trabajo. En él se pretende hacer una evaluación temporal del cambio de usos, con el uso forestal englobando a los tipos de vegetación. Además la superficie de las categorías eliminadas constituye una porción minoritaria del distrito.

Las siete categorías definitivas son las que se clasifican en los mapas de los años anteriores 1989 y 1999, tal y como se describe en metodología. El resultado final de la clasificación en el 2006 es el siguiente mapa de usos de suelo y vegetación (fig. IV.4).

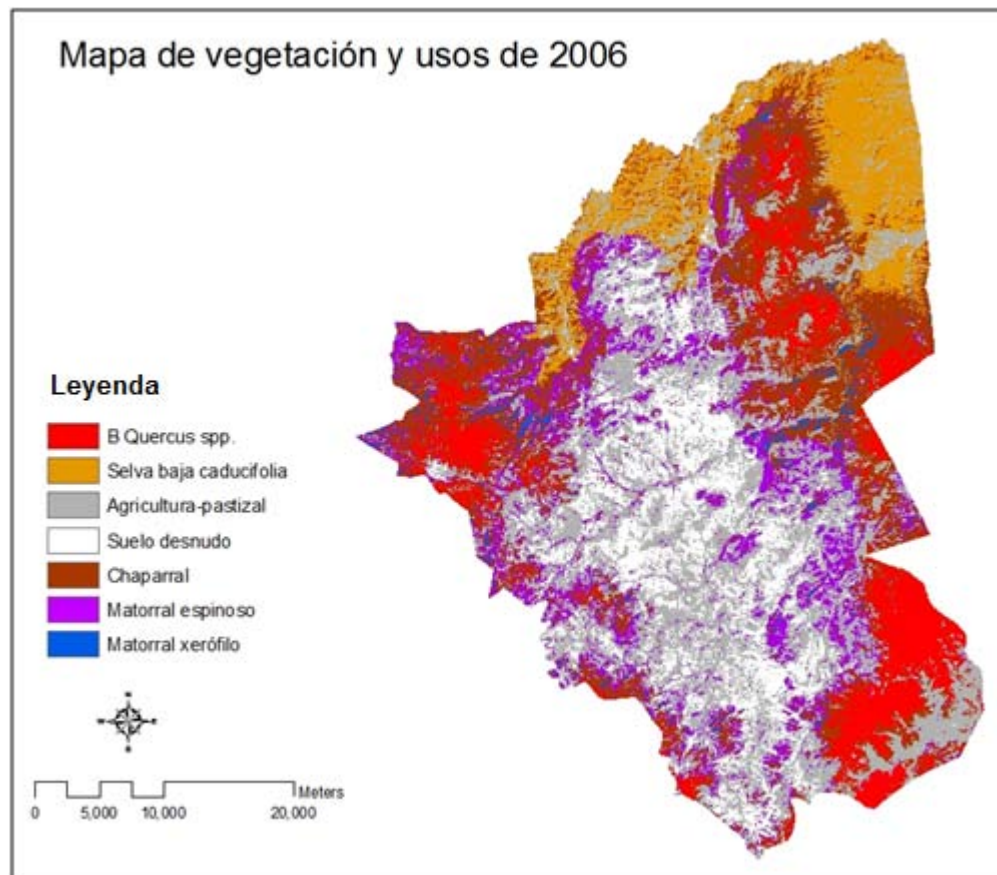


Fig. IV.4 Mapa de vegetación y usos de Coixtlahuaca 2006

1.3. VERIFICACIÓN

Se validan los resultados definitivos del mapa de uso y vegetación del 2006 realizando un muestreo sobre la imagen de satélite Google Earth. Este método se considera orientativo ya que la decisión de qué uso se trata cada punto muestreado se basa en una estimación de la imagen y no una evaluación en el terreno. Aunque este método no es exacto, es considerado suficiente y bastante correcto para proporcionar una validez al mapa debido a que la imagen es en color verdadero y que se conoce la imagen de sucesivas salidas al distrito.

Tal y como se detalla en metodología el muestreo es de tipo sistemático. Al eliminar los puntos que se encuentran fuera de Coixtlahuaca, el número de puntos a “muestrear” en la imagen Google Earth es de 221. De estos, de un total de 44 puntos no se puede deducir su categoría. La causa es que bien no pertenecer a ninguna categoría de las siete presentes en el mapa, o bien no conocer con certeza absoluta a qué categoría pertenece. Los usos no incluidos en el mapa son agua, reforestaciones, urbano y pinar. Sus extensiones en Coixtlahuaca son muy escasas, la causa principal es por tanto no deducir en la imagen qué categoría es.

Los resultados del muestreo, y la localización en coordenadas UTM 14 Norte de cada uno de los 177 pixeles muestreados finalmente se encuentra en el Anexo 7.

Al comparar los resultados del muestreo con el mapa de uso y vegetación del 2006 obtenemos el porcentaje de aciertos de nuestro mapa.

Tabla IV.3 Resultado del muestreo y enfrentamiento de los resultados con el mapa de vegetación y usos del 2006

Mapa2006 Muestreo	B Quercus spp.	Selva baja caducifolia	Agricultura pastizal	Suelo desnudo	Chaparral	Mat espinoso	Mat xerófilo	Total
B Quercus spp.	18	0	1	0	1	0	0	20
Selva baja caducifolia	0	11	1	1	0	0	0	13
Agricultura pastizal	1	1	57	6	2	2	0	69
Suelo desnudo	0	0	5	20	0	0	0	25
Chaparral	6	3	3	0	18	0	0	30
Mat espinoso	1	1	4	0	0	12	1	19
Mat xerófilo	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	26	16	71	28	21	14	1	177

Las cifras que se encuentran en la diagonal principal representan el número de asignaciones correctas de esa categoría. Las cifras que se encuentran fuera representan los errores, discrepancias entre el muestreo y el mapa 2006.

Según los resultados obtenidos, recogidos en la tabla IV.3, el número de sitios muestreados que coinciden con el mapa de vegetación y usos del 2006 es de 136. Al ser el número total de sitios muestreados 177, el porcentaje de acierto del mapa de usos y vegetación del 2006 es de 76,8 %.

2. MAPAS DE VEGETACIÓN Y USOS AÑOS 1989 Y 1999

No tiene sentido en este proyecto que alguno de los años de estudio del análisis temporal presente un número de categorías distinto, ya que el fin es compararlos. Por esta razón las categorías definitivas que se deciden en el apartado 1.2 se extrapolan al resto de los años de estudio: 1989 y 1999. Y así, en estos años se clasifican directamente las imágenes de satélite de cada año en las siete categorías definitivas.

El resultado de la clasificación supervisada de las imágenes de satélite de 1989 y 1999 en las siete categorías definitivas determinadas en el apartado 1.2 de los resultados son los siguientes mapas de uso y vegetación (Fig. IV.5 y Fig. IV.6). Estos mapas son utilizados como material para desarrollar el análisis temporal del uso del suelo en Coixtlahuaca.

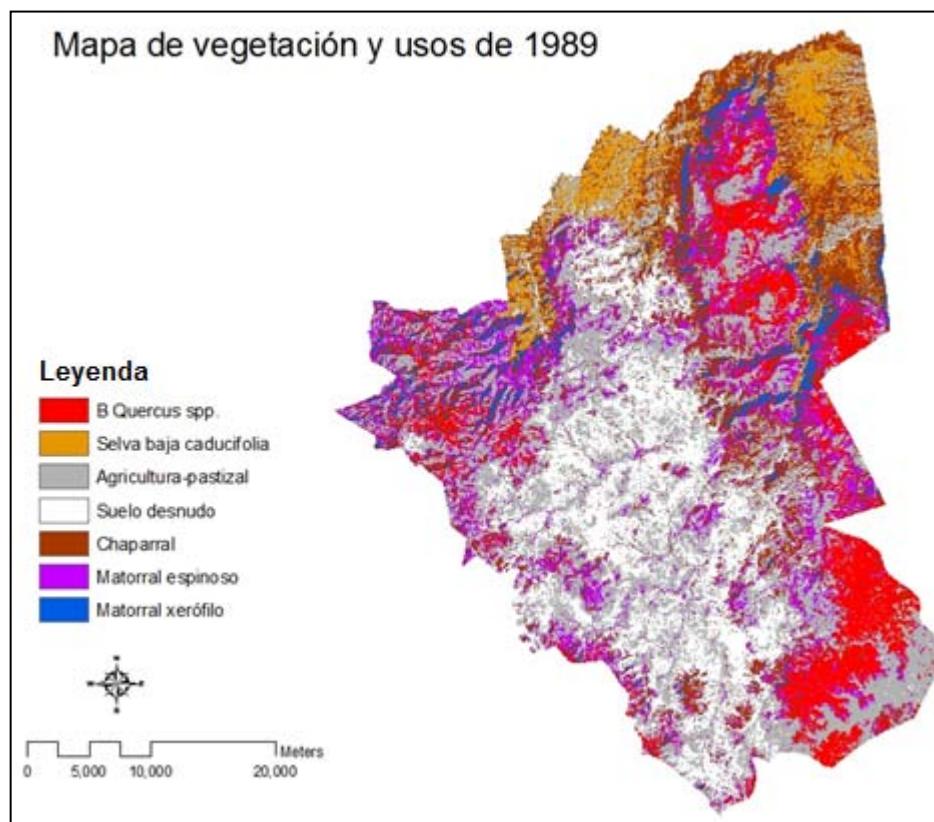


Fig. IV.5 Mapa de vegetación y usos de Coixtlahuaca 1989

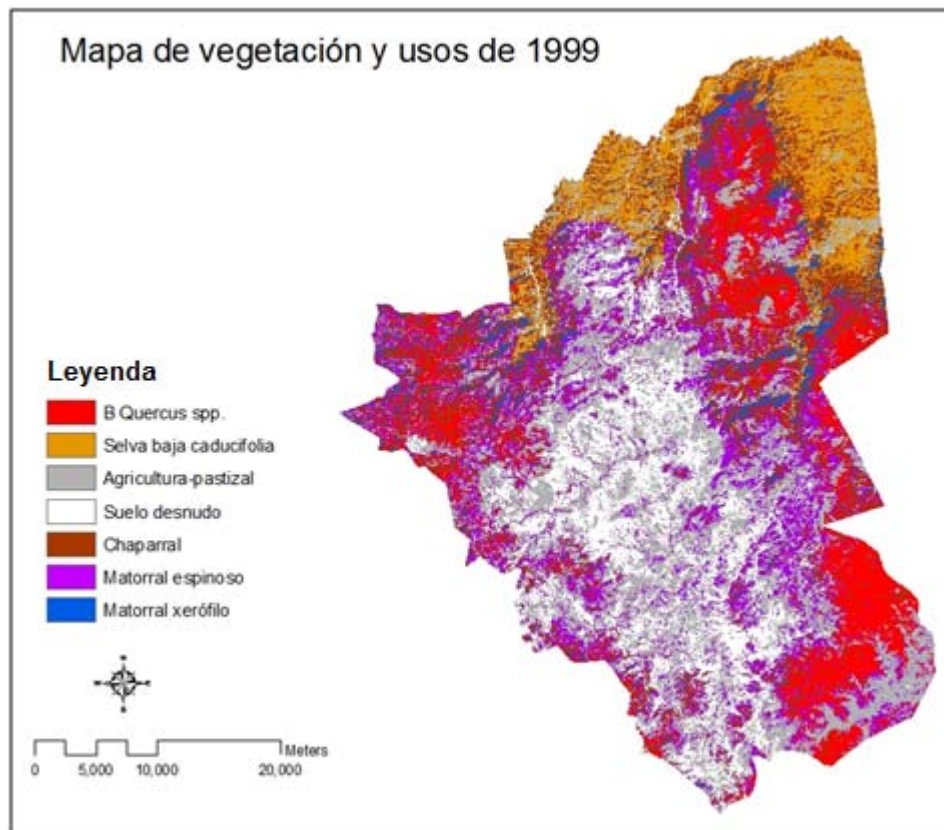


Fig. IV.6 Mapa de vegetación y usos de Coixtlahuaca 1999

3. MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS PARA LAS AUTORIDADES

Tal y como se explica en la descripción de los usos del suelo de Coixtlahuaca en el apartado 1.4, hay dos usos que no se clasifican en los mapas por ser minoritarios y no considerarles importantes en el análisis temporal. Estos usos son las reforestaciones y el agua. No obstante, sí es interesante que las autoridades dispongan de su localización exacta en los mapas. De esta forma, no se encuentran en los mapas de uso y vegetación de los distintos años de estudio, pero sí en este mapa para las autoridades.

La localización de los usos reforestaciones y agua se obtiene de los proyectos incluidos en el programa contra la desertificación de M^a Jesús Serra Varela y María del Riego Ceña (2010), tal y como se explica en metodología.

El uso urbano y el uso agrícola no se encuentran en la leyenda de los mapas de los años de estudio por no clasificarse en ellos de manera correcta; el razonamiento detallado se encuentra en el primer apartado de los resultados. No obstante, al igual que las reforestaciones y el agua, sí es interesante que las autoridades dispongan de su localización exacta en los mapas. Por tanto, no se encuentran en los mapas de vegetación y usos de los distintos años

de estudio, pero sí en este mapa para las autoridades. La localización del uso urbano y agrícola se obtiene del Proyecto fin de carrera de M^a Jesús Serra (2010), antes citado.

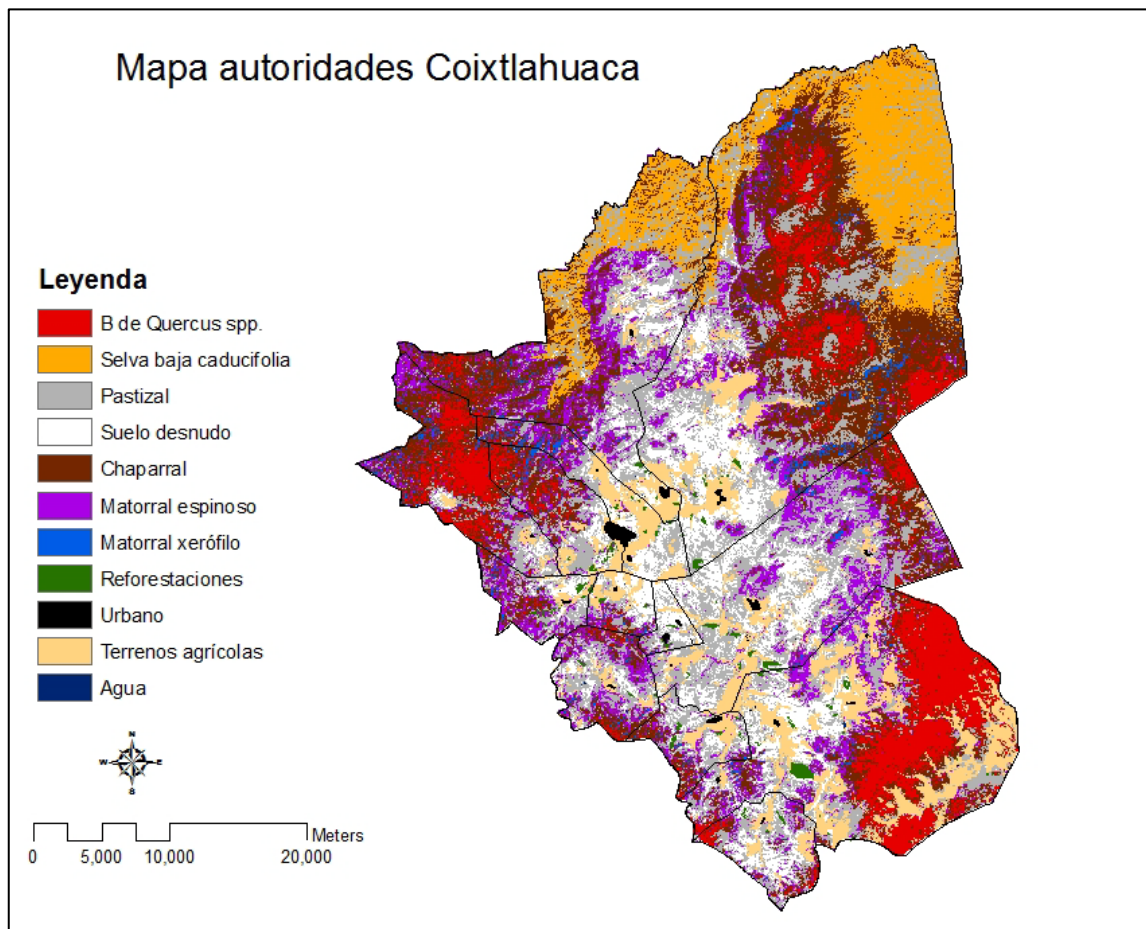


Fig. IV.7 Mapa de vegetación y usos para las autoridades de Coixtlahuaca

El mapa de vegetación y usos para las autoridades georreferenciado y representado con mejor nivel de detalle en DIN-A3 se puede consultar en el Anexo 8 del presente proyecto. En el mapa para las autoridades se incluye la delimitación de los municipios para localizarse en Coixtlahuaca.

4. ANÁLISIS ESPACIAL

El mapa para las autoridades es el mapa más reciente que se dispone, además es el que representa las categorías tanto que se clasifican mediante teledetección como las que se obtienen de otros estudios complementarios. A partir del mapa de las autoridades se extrae la información para realizar la tabla siguiente (tabla IV.4). En ella se representan las superficies de cada uso y su porcentaje en el distrito de Coixtlahuaca.

El análisis espacial está basado en un análisis descriptivo del mapa de las autoridades que se representa en la figura IV.7 y en el Anexo 8 del proyecto con más detalle.

Tabla IV.4 Superficies de cada uso del suelo y tipo de vegetación en el mapa autoridades del 2006

Uso de suelo/ tipo de vegetación	Superficie (Km ²)	% respecto a Coixtlahuaca
Bosque de Quercus spp.	176,19	10,43
Selva baja caducifolia	173,20	10,26
Pastizal	423,49	25,08
Suelo desnudo	180,59	10,69
Chaparral	347,09	20,55
Matorral espinoso	181,41	10,74
Matorral xerófilo	23,24	1,38
Terreno agrícola	165,92	9,82
Urbano	6,68	0,40
Reforestaciones	10,74	0,64
Agua	0,23	0,01
Total	1688,78	100,00

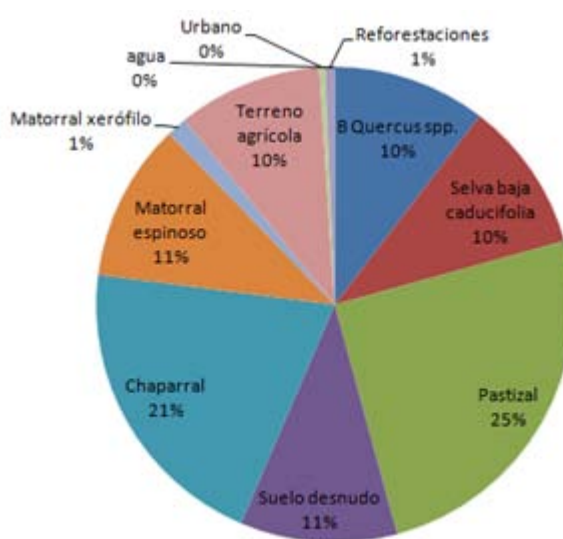


Fig. IV.8 Porcentaje de las categorías de usos de suelo y tipos de vegetación en Coixtlahuaca 2006

Tabla IV.5 Porcentaje de superficie forestal en Coixtlahuaca

Grupos de vegetación forestal	Superficie (km ²)	%
Bosque Quercus spp.	176,19	10,43
Selva baja caducifolia	173,20	10,26
Chaparral	347,09	20,55
Matorral espinoso	181,41	10,74
Matorral xerófilo	23,24	1,38
Reforestaciones	10,74	0,64
Total	911,87	54,00

Los grupos de vegetación Bosque de Quercus spp., la Selva baja caducifolia, el Chaparral, el Matorral espinoso. Matorral xerófilo y las reforestaciones constituyen la superficie forestal de Coixtlahuaca. La figura IV.8 refleja una distribución mayoritaria de superficies forestales, un total de 54 %, seguida del pastizal y del suelo desnudo, con un 25 y un 11% respectivamente en Coixtlahuaca.

Se muestran a continuación los nombres de los municipios de Coixtlahuaca (figura IV.9). En el mapa para las autoridades se incluye la delimitación de los municipios como guía para localizarse en Coixtlahuaca. El perímetro de los municipios y la figura IV.9 constituyen un apoyo a la comprensión del análisis espacial cuando se nombran los municipios.

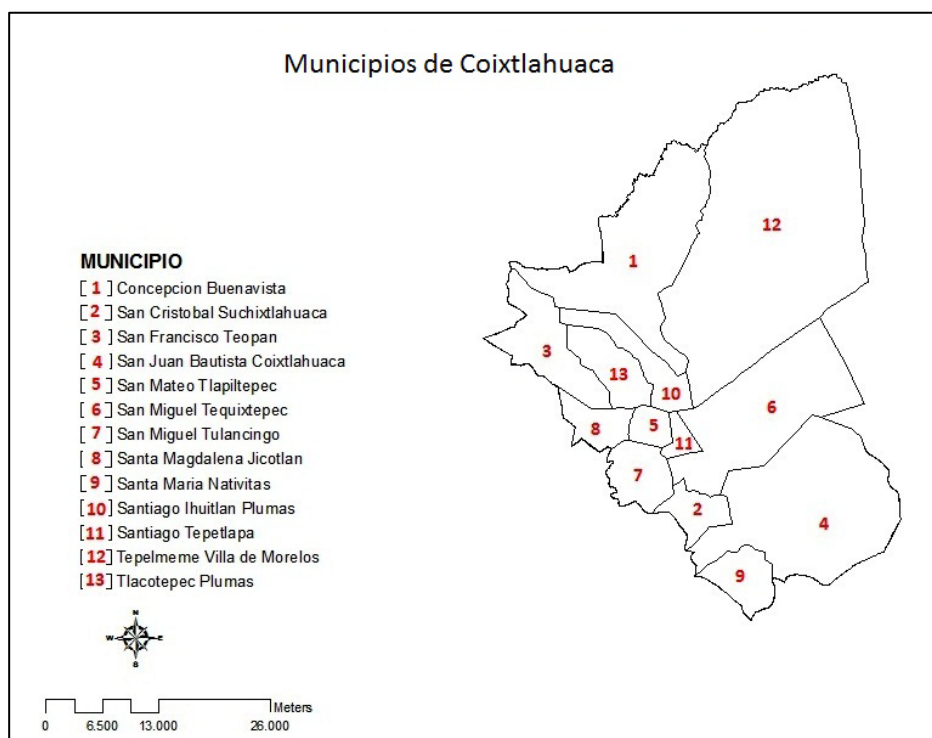


Fig. IV.9 Municipios de Coixtlahuaca

Bosque de Quercus spp.:

El bosque de Quercus se distribuye en una superficie de 176,19 km², un poco más del 10 % del total del distrito. Se encuentra entre los 2.300 metros aproximadamente y las cumbres más altas del distrito, de más de 2.800 metros de altitud. Las especies son de carácter caducifolio en las cotas más bajas y de carácter perennifolio a más altura.

Se da a grandes alturas por tener necesidad para crecer en clima templado y húmedo. En las vertientes orientales se observa que aparece en menor altitud que en las occidentales. Este comportamiento se explica porque las vertientes orientales son más húmedas al recoger los vientos cargados de agua del Golfo de México, tal y como se comenta en la descripción del clima de Coixtlahuaca. Así, se observa en el mapa que el Bosque de Quercus spp. aparece en las vertientes orientales a partir de los aproximadamente 2.100 metros, y en las occidentales a partir de los 2.400 aproximadamente.

Las masas más importantes se dan en las montañas más altas de Coixtlahuaca: al sureste del distrito, en el municipio de San Juan Bautista Coixtlahuaca; en las cumbres del suroeste del distrito divisorias de aguas del Atlántico y el Pacífico, especialmente en San Francisco Teopam; y por último las cumbres orientales de Coixtlahuaca, en los municipios de Tepelmeme Villa de Morelos y San Miguel Tequixtepec.

Su distribución actual, mermada por la extracción de leña y las roturaciones para ampliar la superficie agrícola en la historia de Coixtlahuaca, se muestra en la figura IV.7. En la imagen Google Earth se aprecian numerosas oquedades dentro de las masas, pertenecientes a pastizales o cultivos agrícolas.

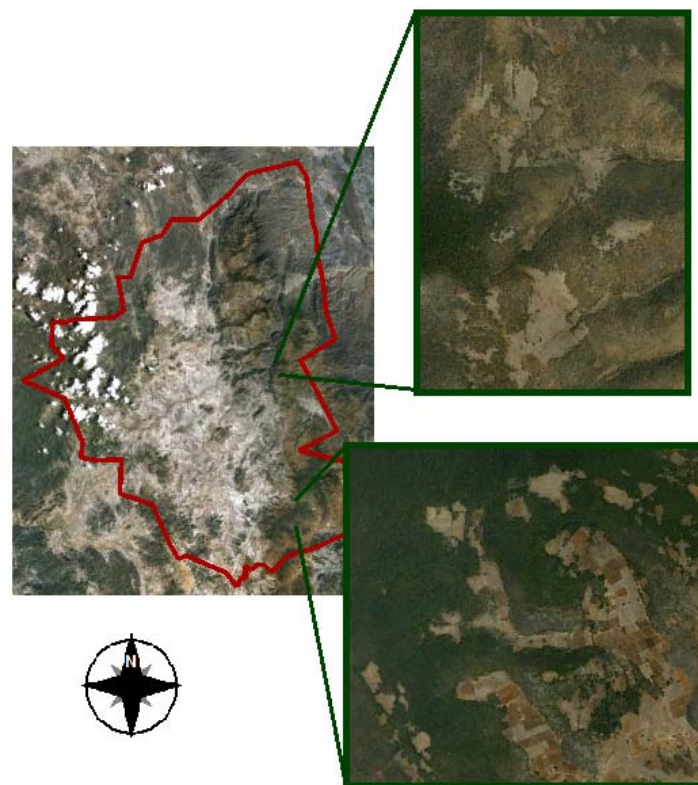


Fig. IV.10 Roturaciones en los Bosques de *Quercus* spp. del sureste y este de Coixtlahuaca

Matorral xerófilo

Este tipo de vegetación se localiza en 23,24 km² de Coixtlahuaca y es el menos representado de los tipos de vegetación con algo más del 1% en el mapa de usos y vegetación.

Se encuentra en las laderas noroeste, cuando no es suficientemente alto como para que la humedad permita crecer otros grupos de vegetación. Además, evaluando su distribución en el mapa, el matorral xerófilo se encuentra siempre en laderas de gran pendiente, normalmente superiores al 30%. Su limitada distribución se explica por las escasas zonas que cumplen orientación noroeste, altitudes entre los 1.300 y 2.100 aproximadamente y fuertes pendientes. Por encima de la cota máxima aproximada de 2.100 metros se desarrolla el Chaparral. Por debajo del nivel de 1.300 metros se encuentra la Selva baja caducifolia.

Selva baja caducifolia

Se localiza en el distrito en un total de 173,20 km², algo más del 10 % de Coixtlahuaca. La Selva baja caducifolia se distribuye por la región más septentrional del distrito por ser la zona que presenta altitudes más bajas, y por tanto los climas más cálidos y secos que permiten que crezca este tipo de selva.

Crece fundamentalmente sobre suelos pedregosos y someros (Rzedowski, 2006; Leyva, 2009) por lo que no ha sido muy explotada por la población para convertir estos terrenos en agrícolas. Sin embargo, sí destaca en cuanto su aprovechamiento para el ganado, fundamentalmente caprino pero también ovino y asnal. Según Franco (2008) los copales y los guajes (*Bursera* sp. y *Leucaena* sp.) están entre las preferencias del ganado caprino de la Región Mixteca.

Es el grupo de vegetación casi exclusivo de la región más septentrional y por debajo de los 1.800 metros de altitud. El resto de usos que existen en esta zona con clima seco y cálido son consecuencia de la degradación de la Selva baja caducifolia, estos usos son los terrenos agrícolas, pastizal y suelo desnudo.

Matorral espinoso

El Matorral espinoso ocupa en Coixtlahuaca una superficie de 181,41 km² hectáreas, casi un 11% de la superficie total del distrito. Según el mapa de vegetación y usos, este tipo de vegetación se encuentra repartida por todo el distrito mayoritariamente en laderas. A su vez se encuentra en los cauces de los ríos de la parte central de Coixtlahuaca.

Según el mapa de vegetación y usos, esta clase se encuentra en altitud por debajo del Chaparral y por encima de la Selva baja caducifolia. La separación altitudinal con el chaparral no es muy clara, pero se encuentra alrededor de los 1.800 en las laderas más húmedas, las orientales, y alrededor de los 2.100 en las occidentales. Esta diferencia de cotas se debe a la influencia de los vientos alisios en la vegetación de Coixtlahuaca.

Por debajo del matorral espinoso en altitud se encuentra el grupo de vegetación que necesita más calor y condiciones xerófilas para crecer, la Selva baja caducifolia. Este cambio altitudinal únicamente se da en la parte norte, donde se alcanzan las cotas más bajas. El cambio de un grupo a otro es aproximadamente a los 1.600 metros en las laderas oeste y a los 1.800 en las laderas este.

El Matorral espinoso, cumpliendo más o menos los límites de altitud expuestos, se localiza por todo el distrito. La parte central de Coixtlahuaca constituye la parte más degradada. En la imagen Google Earth que se muestra en metodología se puede apreciar una gran mancha blanca que constituye esta extensa región del distrito. El matorral espinoso constituye

con el Chaparral los tipos de vegetación exclusivos que aparecen en esta gran mancha blanca mencionada.

Chaparral

El Chaparral se localiza en Coixtlahuaca en 347,09 km², ocupando un 21% del distrito aproximadamente.

En cuanto a altitud, este grupo de vegetación se presenta en altitud por debajo del Bosque de Quercus spp., a partir de los 2.200 o los 2.400 metros sobre el nivel del mar según la ladera este u oeste. El Chaparral se encuentra por encima del Matorral espinoso en altura, por ser menos xerófilo, a partir de los aproximadamente 1.800 y 2.100 metros según las laderas occidentales u orientales respectivamente.

En términos generales el Chaparral se localiza por todo el distrito, incluido en la zona central que se hace referencia en el grupo de vegetación anterior. Esta región constituye la parte más degradada y poblada de Coixtlahuaca. El Chaparral constituye, junto con el matorral espinoso, uno de los dos grupos de vegetación que “sobreviven” en esta zona. Por esta razón, ambos grupos de vegetación se encuentran muy presionados en la actualidad por el ganado de la población.

Reforestaciones

Las reforestaciones en Coixtlahuaca ocupan una superficie de 10,74 km² y representan el 1%. Como se describe en el apartado de descripción de los usos de suelo están constituidos de diferentes especies según el órgano administrativo que llevó a cabo la reforestación. En cuanto a su localización, todas presentan en común que se encuentran en la parte más degradada de Coixtlahuaca, la ya mencionada zona “blanca” central. Como reforestaciones de protección, presentan el objetivo de aumentar la cubierta vegetal de la afectada región de Coixtlahuaca, y de esta manera disminuir la erosión, aumentar la materia orgánica del suelo y mejorar la infiltración. Por esta razón, las localizaciones se ubicaron en los suelos desnudos de Coixtlahuaca de los municipios más afectados. Todos los municipios presentan al menos una reforestación en su territorio, a excepción de San Francisco Teopam. La ausencia de reforestaciones en este municipio no es debido a que se encuentre totalmente forestado, sino por cuestiones de gestión desconocidas que no son de la temática del presente proyecto.

El seguimiento de las reforestaciones y el riego de subsistencia en los primeros años en las estaciones más duras son actuaciones fundamentales para el éxito de una reforestación. Esto ha sido causa del fracaso de muchas reforestaciones del distrito. A su vez, tal y como se menciona en el apartado de descripción de usos 1.4 de Material y métodos, hay numerosas reforestaciones con especies alóctonas no adaptadas al clima árido de Coixtlahuaca. Por esta razón, la elección de la especie en bastantes ocasiones no ha sido la acertada. Al cabo de años de su plantación, se demuestra que su estado sanitario no es bueno ni sus árboles alcanzan el desarrollo esperado. Este hecho se suma a que determinadas especies tengan efectos negativos sobre el suelo. De esta forma, la continuidad en Coixtlahuaca de estas reforestaciones es complicada. Sin embargo sí hay reforestaciones que han tenido éxito en su desarrollo y a día de hoy han creado una capa de suelo suficiente para albergar un sotobosque y frenar los procesos erosivos.

Uso urbano

El uso urbano constituye menos del 1% de la superficie del distrito. Coixtlahuaca es un distrito rural de 170.000 hectáreas en donde la población no alcanza los 9.000 habitantes. Las principales poblaciones del distrito se muestran en la figura IV.11.

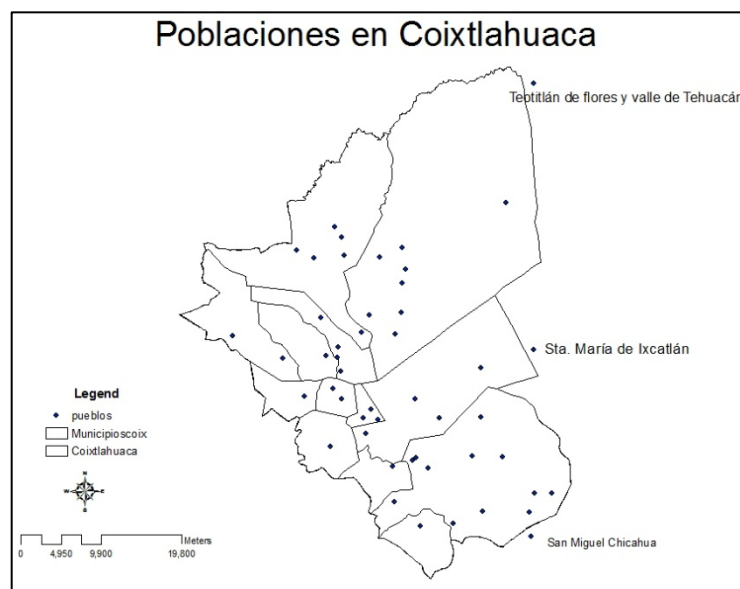


Fig. IV.11 Poblaciones en el distrito de Coixtlahuaca (Fuente: Dirección de cartografía y presentación de la dirección general de planeación de Oaxaca)

Los pixeles del mapa de las autoridades que representan al uso urbano no reflejan la cantidad de comunidades y rancheríos aislados que existen en Coixtlahuaca. En ocasiones están formados por unas pocas casas, y sus calles no están asfaltadas. Por estas razones no

se puede delimitar el perímetro de todas las poblaciones, más que las de las más grandes, y es más adecuado simbolizar con un mapa de puntos donde se localizan las poblaciones del distrito.

En vista de la figura IV.11 y del trabajo de campo, en la región central de los valles vive la mayor parte de la población; la parte correspondiente a la gran mancha blanca que se visualiza en la imagen Google Earth. La altitud de esta zona oscila principalmente entre los 2.000 y 2.200 metros, con alguna elevación que no supera apenas los 2.400. El Matorral espinoso es la única vegetación que se da en esta zona junto con el Chaparral, combinándose, en esas elevaciones. Consecuentemente, estos grupos de vegetación están muy presionados por la población, tanto como por su ganado como por la extracción para leña por ser los grupos de vegetación más accesibles.

Agricultura

La superficie agrícola ocupa en el distrito de estudio un total de 168,92 km², alrededor de un 10% de la superficie total. Según el mapa de vegetación y usos este uso se localiza principalmente cerca de los núcleos urbanos, de los cauces de los ríos y en las partes más llanas, por presentar mejores terrenos para los cultivos.

A lo largo de la historia los asentamientos humanos se han localizado fundamentalmente en los valles más fértiles para cosechar los alimentos para alimentarse o comercializar. Y así, según se muestra en la figura IV.11, la mayoría de las poblaciones se encuentran en la parte central, donde hay más agricultura y suelos más apropiados para su cultivo como los fluvisoles y los luvisoles.

Por las altitudes a las que se encuentran los cultivos, hasta más de 2.500 metros, se deduce que han sido taladas miles de hectáreas de Bosques de *Quercus* spp., de Chaparral y de Matorral espinoso para cultivar.

Pastizal

La superficie de pastizal es de 423,49 km², un 25% del total. Es uno de los usos mayoritarios y se distribuye por todo el distrito debido a la importancia del pastoreo en Coixtlahuaca. Los pastizales se presentan tanto entre grandes altitudes entre Bosques de *Quercus* spp., como en los valles centrales de la parte central, entre los 2.000 y los 2.200 metros y la parte más septentrional y de menos cota altitudinal de Selva baja caducifolia.

La procedencia de los pastizales es de la conversión de tierras agrícolas por abandono u otra procedencia de explotación como tala para leña o sobrepastoreo, pero nunca natural porque existe vegetación leñosa natural a la elevación a la que se encuentra.

Suelo desnudo

La porción de superficie sin vegetación es de 180,59 km², un 11% de Coixtlahuaca. Su localización coincide en gran medida con la mancha blanca que se aprecia desde la imagen de satélite Google Earth. La intensa explotación de los recursos por parte de la población en la historia, sumado a las concentradas e intensas lluvias que caen en este territorio, han causado que una importante porción de Coixtlahuaca se encuentre sin una capa suficiente de suelo como para albergar una cobertura vegetal.

Tal y como se expone en la reseña histórica, una de las causas fundamentales ha sido la gran extensión de agricultura de subsistencia que se ha practicado para alimentar a la elevada población de siglos pasados. Para aprovechar de manera óptima el agua, y ampliar la superficie de cultivo, se construían terrazas para sembrar. En el último siglo, muchas de ellas se abandonaron como consecuencia de la emigración de la población o descensos bruscos poblacionales como epidemias. Tras romper la continuidad de su mantenimiento, y en ausencia de vegetación que sujete el terreno, las torrenciales lluvias se llevan la tierra fértil en cantidades variables hasta hacer aflorar la roca madre en zonas concretas de la parte central de Coixtlahuaca.

Al estudiar el mapa de vegetación y usos del 2006, se observa que la falta total de vegetación se da en aquellas zonas cercanas a la población. En el caso de Coixtlahuaca, la mayoría de la población se encuentra y se ha encontrado a lo largo de la historia en la zona central, como ya se ha mencionado anteriormente, por lo que es la región donde se localiza más suelo desnudo.

5. ANÁLISIS TEMPORAL

Los mapas de usos de suelo y vegetación de los distintos años de estudio presentan siete categorías; cinco de ellas se corresponden con tipos de vegetación. Según se describe en la metodología, se agrupan las categorías definitivas de los mapas de vegetación y usos en forestal, agricultura- pastizal y suelo desnudo (tabla IV.6).

Tabla IV.6 Reclasificación de las categorías de los mapas de vegetación y usos en uso forestal, agrícola-pastizal y suelo desnudo

Categoría en los mapas de uso y vegetación	Análisis temporal
Bosque de Quercus spp.	Uso forestal
Selva baja caducifolia	
Chaparral	
Matorral espinoso	
Matorral xerófilo	
Agricultura-pastizal	Agricultura – pastizal
Suelo desnudo	Suelo desnudo

En este proyecto se atiende de especial manera a los resultados del uso forestal. Así, se desglosan en el apartado correspondiente los resultados de este uso en los tipos de vegetación que existen en Coixtlahuaca. Se analiza de esta forma qué grupos de vegetación han sufrido más cambios hacia otros usos no forestales en el periodo de estudio que se contempla y las causas.

5.1. EVOLUCIÓN DE LOS USOS EN COIXTLAHUACA

En una primera aproximación se estudia cómo varían las superficies de los tres usos: forestal, agricultura-pastizal y suelo desnudo. En la tabla que se muestra a continuación se exponen las superficies en km² de cada uno de ellos.

Tabla IV.7 Superficie del uso forestal, agrícola-pastizal y suelo desnudo en Coixtlahuaca en los años 1989, 1999 y 2006

	1989	1999	2006
Forestal	818,07	967,30	918,89
Agrícola - pastizal	594,89	491,07	552,83
Suelo desnudo	275,77	230,35	217,00
Total	1688,72	1688,72	1688,72

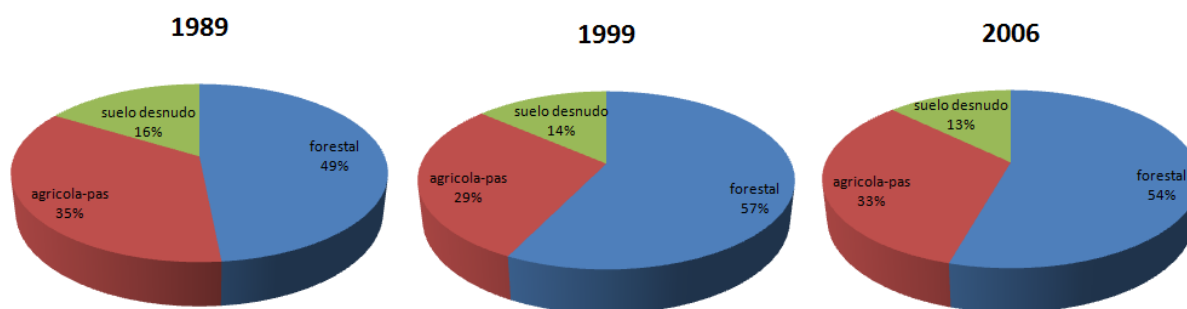


Fig. IV.12 Proporción en Coixtlahuaca de los usos del suelo en los años 1989, 1999 y 2006.

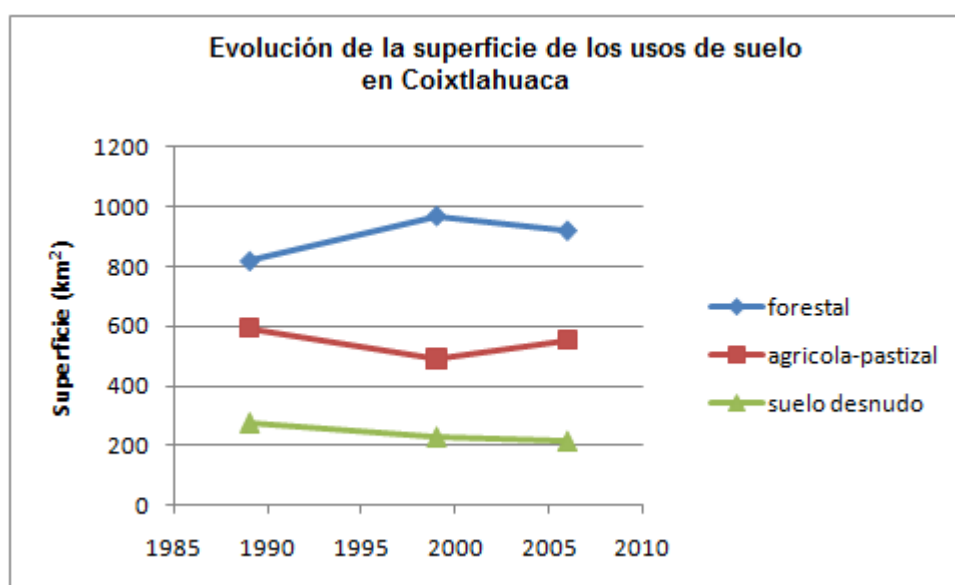


Fig. IV.13 Evolución de la superficie de los usos de Coixtlahuaca entre 1989 y 2006

El uso forestal se distribuye en Coixtlahuaca en aproximadamente la mitad de todo su territorio. Según nos muestran las tablas y gráficas anteriores, el uso forestal es el más abundante en Coixtlahuaca. Por detrás de este uso se encuentran el uso agricultura y pastizales, y por último el suelo desnudo. Cerca de la sexta parte de Coixtlahuaca presenta una nula cobertura vegetal. Hay que destacar que aunque se encuentre el último en cuanto a representación, el suelo desnudo ocupa una proporción demasiado alta en el distrito.

En una primera aproximación a las tendencias de los usos se puede establecer:

- La superficie de suelo desnudo desciende. Esta tendencia es una recuperación parcial del distrito de Coixtlahuaca: 60 km² han dejado de estar totalmente desnudos y algún tipo de cubierta vegetal existe.

- El uso forestal presenta un ligero cambio de comportamiento en el año 99. A pesar del cambio de tendencia se puede observar una tendencia a aumentar en los 17 años del estudio.

Estas dos primeras aproximaciones a los resultados muestran un cambio de tendencia en la deforestación y degradación que ha existido en la historia de Coixtlahuaca: aumento de la superficie forestal y descenso de la superficie de suelo desnudo.

Cambios y permanencia de usos entre los dos periodos de estudio 1989-1999 y 1999-2006

En las tablas IV.8 y IV.9 se muestran los cambios entre usos del suelo en los dos periodos de estudio. En cada celda se muestra la superficie de cambio entre el uso de la fila que se encuentre y el uso de la columna. La diagonal principal indica permanencia del uso en cuestión entre los dos años considerados.

Tabla IV.8 Superficie en Km² de cambio y permanencia de los usos de Coixtlahuaca en el periodo 89-99.

Usos suelo	Forestal 99	Agricultura-pastizal 99	Suelo desnudo 99
Forestal 89	769,12	46,08	2,86
Agricultura-pastizal 89	188,58	372,59	33,72
Suelo desnudo 89	9,61	72,39	193,77

Tabla IV.9 Superficie de cambio y permanencia de los usos de Coixtlahuaca en el periodo 1999-2006.

Usos suelo	Forestal 06	Agricultura-pastizal 06	Suelo desnudo 06
Forestal 99	841,39	121,39	4,52
Agricultura-pastizal 99	74,89	370,57	45,60
Suelo desnudo 99	2,61	60,87	166,88

5.2. EVOLUCIÓN USO FORESTAL

Analizamos en primer lugar el uso forestal en el distrito de Coixtlahuaca. En la gráfica que se representa en la figura IV.13 del principio del apartado se muestra la tendencia que sigue en el distrito el uso forestal. Se aprecia un aumento de la superficie en el periodo 1989-1999 de 150 km², y un descenso entre 1999 y el 2006 de 48 km².

En el periodo de estudio del presente proyecto (1989-2006) la superficie forestal presenta el mayor valor de superficie en el año 1999, con 967 km². La superficie forestal en los 17 años de estudio aumenta de forma neta en aproximadamente 100 km².

5.2.1. GANANCIAS Y PÉRDIDAS DE SUPERFICIE FORESTAL

Aunque en términos netos existe una ganancia forestal, se puede desglosar la información para cada periodo de estudio. Y así, a continuación se analizan a continuación las pérdidas y ganancias de la superficie forestal en los periodos de estudio que se contemplan.

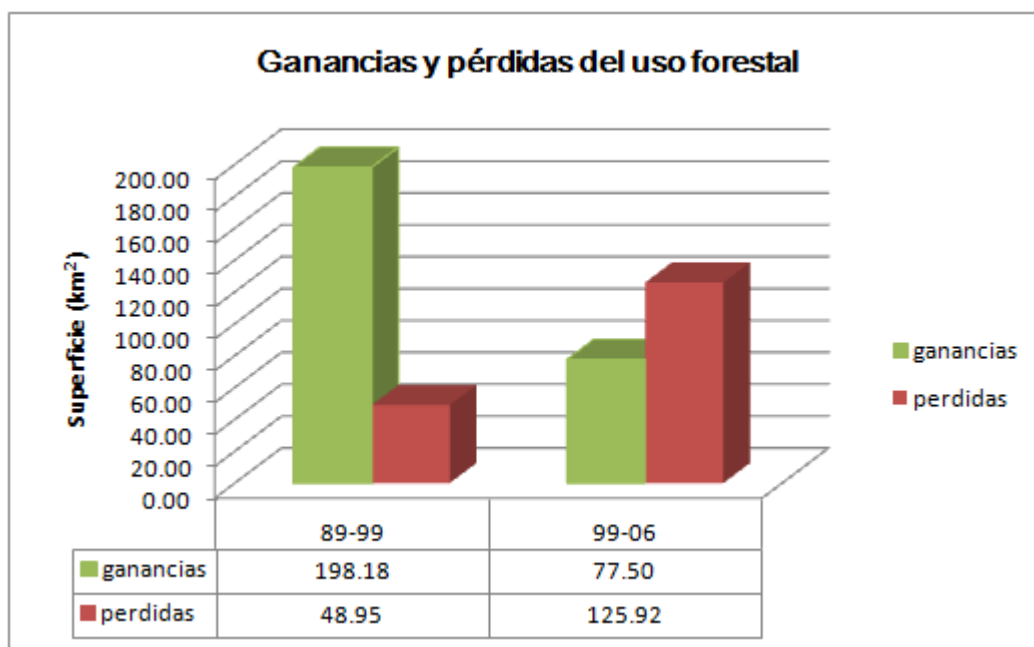


Fig. IV.14 Pérdidas y ganancias de superficie del uso forestal en los distintos periodos de estudio

La gráfica anterior (Fig. IV.14) muestra que en el periodo 1989-1999 las ganancias de superficie forestal son mayores que las pérdidas. Por esta razón la superficie forestal aumenta en este periodo. En el periodo 99-06 ocurre lo contrario, las pérdidas son mayores que las ganancias. Sin embargo, al ser la suma de pérdidas menores que las ganancias, hay un incremento de la superficie forestal en el distrito entre 1989 y 2006, como ya se comentó anteriormente.

Con el fin de buscar las causas de la evolución de la superficie forestal, en el gráfico que sigue a continuación se expresa a qué usos se convierten los terrenos forestales y viceversa (Fig. IV.15). Es decir, de qué usos provienen las pérdidas y ganancias de superficie forestal en los dos periodos de estudio.

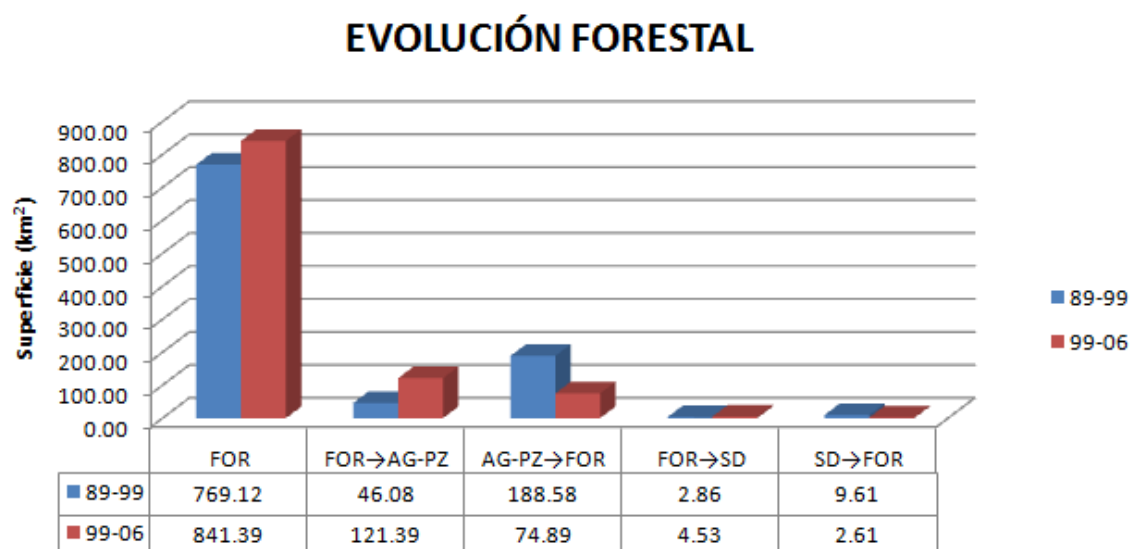


Fig. IV.15 Transformaciones entre el uso forestal y el resto de usos de Coixtlahuaca. FOR: Superficie sin cambios; FOR→AG-PZ: conversión del uso forestal a uso agrícola – pastizal; AG-PZ→FOR: conversión del uso agrícola-pastizal a uso forestal; FOR→SD: conversiones del uso forestal a terrenos con suelo desnudo; SD→FOR: Conversiones de terrenos con suelo desnudo a uso forestal.

De la figura IV.15 se aprecia que el uso al que fundamentalmente se convierte la superficie forestal es a terrenos agrícolas y pastizales. A su vez, son principalmente estos mismos usos los que se convierten a terrenos forestales. Este hecho se da tanto en el periodo 1989-1999, como en 1999-2006.

El suelo desnudo no influye apenas en la evolución de las superficies forestales. Aun así, presenta interés que tipo de cubiertas vegetales presentan esta capacidad de reforestar el suelo desnudo en un periodo de tiempo de 10 y 7 años. Por esta razón, sí se analiza más adelante el aumento de superficie forestal a través de este uso.

A continuación se representa dónde han ocurrido los cambios de uso forestal a uso agrícola-pastizal. En concreto, se señalan en la extensión de Coixtlahuaca dónde se ha perdido y dónde se ha ganado superficie forestal por esta causa en el periodo 89-99 y el segundo periodo 99-06. En éstos mapas figuran los municipios de Coixtlahuaca para conocer en cuáles de ellos se dan los cambios más significativos.

Para el análisis de estos cambios se tiene en cuenta la población en cada municipio (fig. IV.17). Se recuerda que la información que se expone en este proyecto en cuanto a demografía no corresponde exactamente con los años de estudio, sino que distan un año de ellos, debido a que son los únicos datos demográficos disponibles. Para visualizar esta información de una manera más comprensiva se muestran en la figura IV.18 a) las tres mismas

barras de la figura IV.17 localizadas en cada municipio representando a la población. De esta forma se puede ver cuáles son los municipios más poblados en los años 1990, 2000 y 2005 de una forma global. Recordando el aspecto demográfico de Coixtlahuaca, su tendencia general demográfica es descender debido a la emigración hacia la capital o EEUU. En la figura IV.18 b) se representa el descenso de población porcentual de cada municipio en los periodos de estudio 89-99 y 99-06.

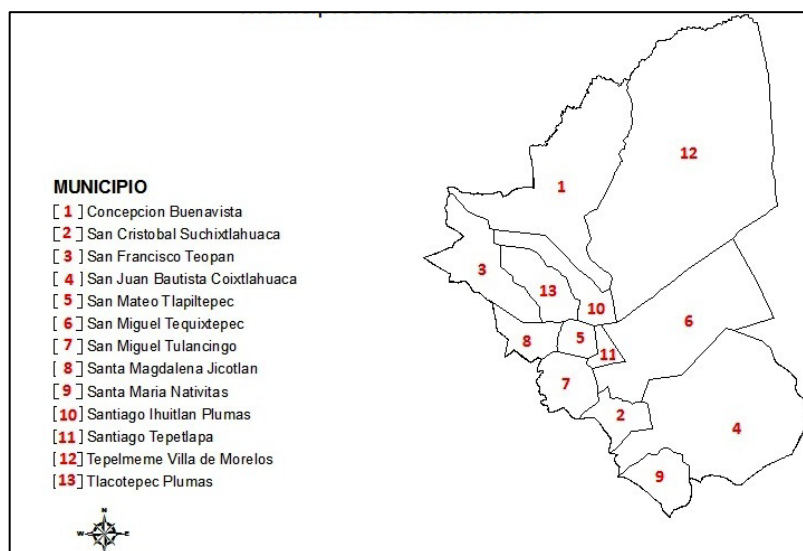


Fig. IV.16 Municipios de Coixtlahuaca

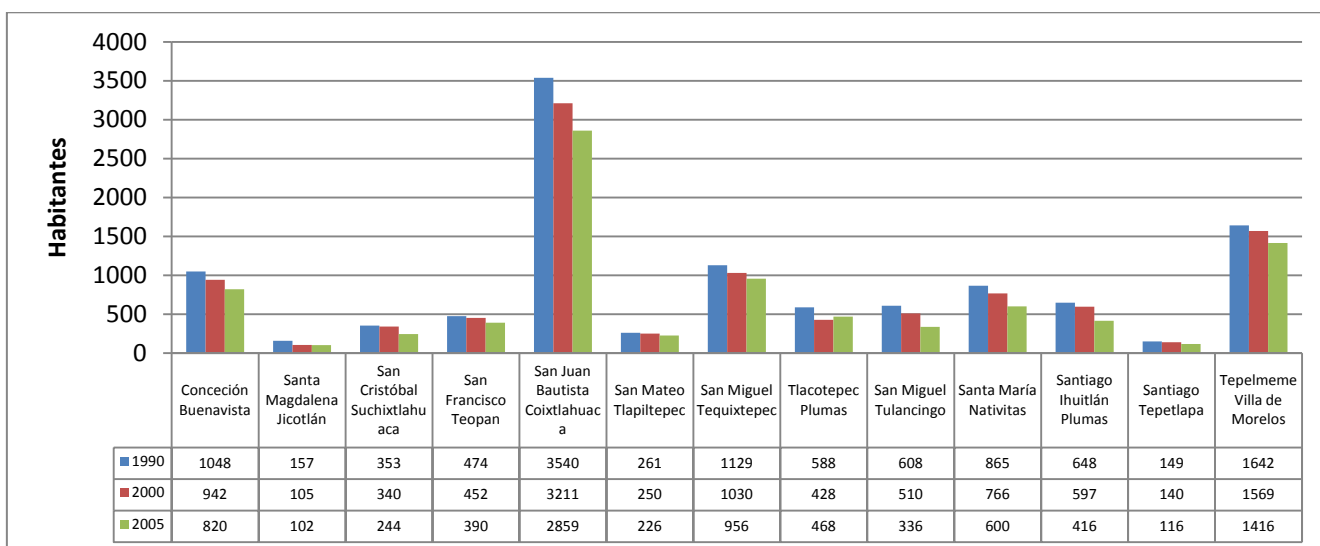


Fig. IV.17 Población del distrito de Coixtlahuaca desglosada por municipios para los años 1990, 2000 y 2005. (INEGI, 2005)

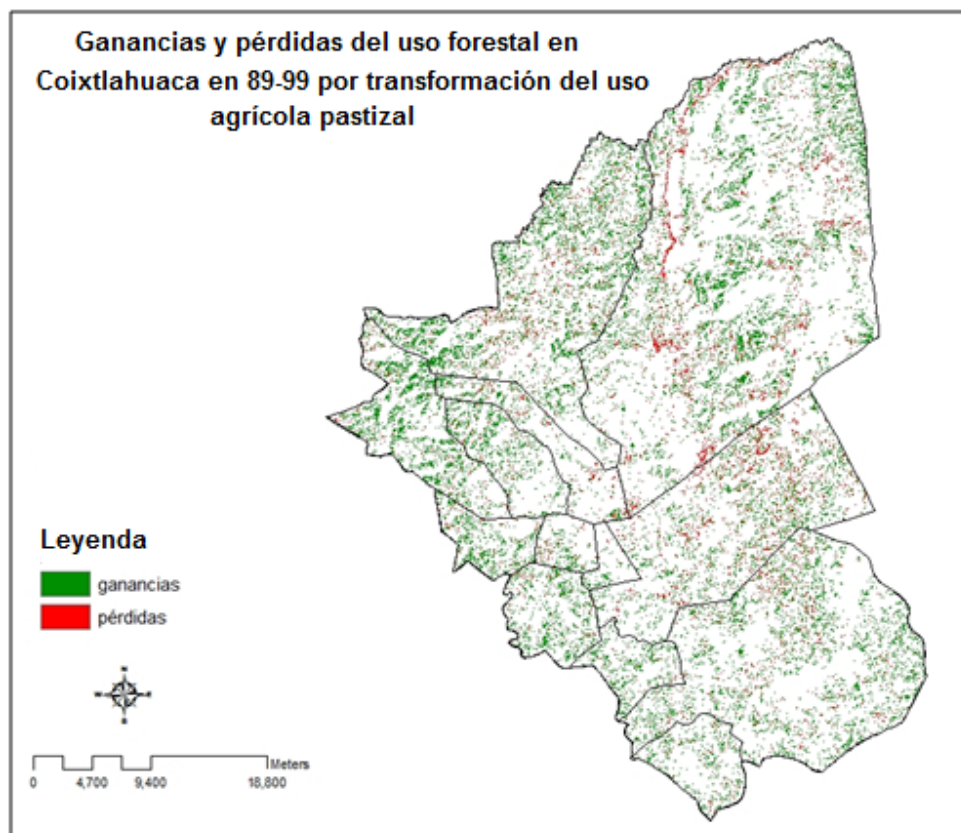
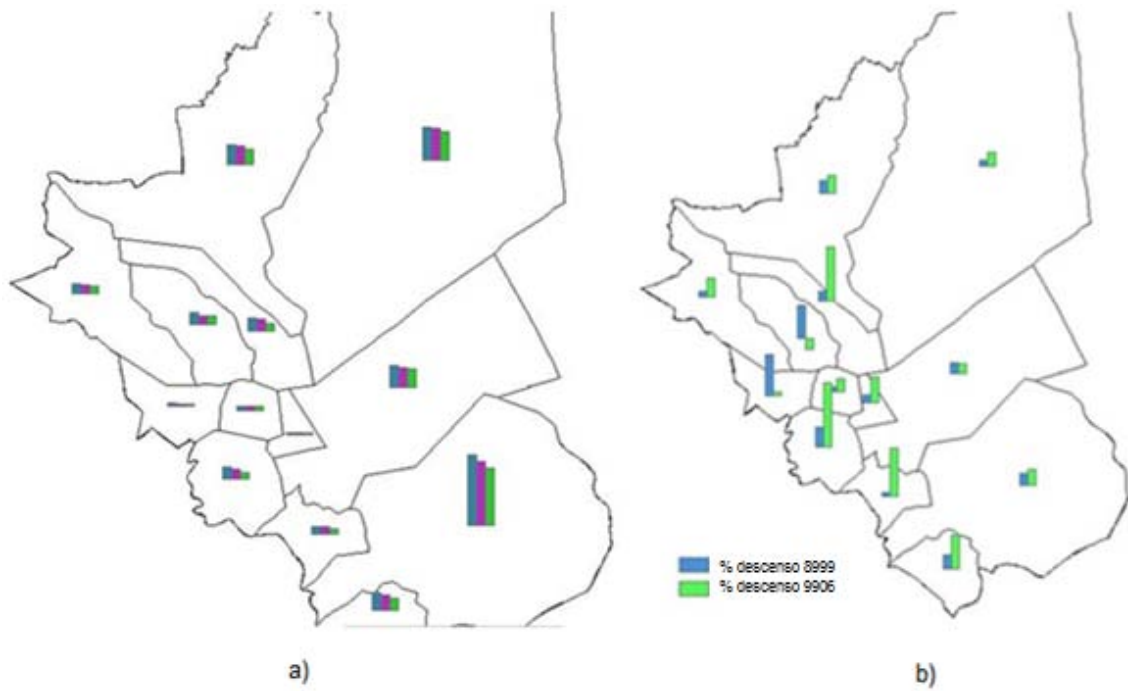


Fig. IV.19 Mapa de evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales para el periodo 1989-1999 en los municipios de Coixtlahuaca

En el mapa que se representa en la figura IV.19 se observa un aumento generalizado en todos los municipios de zonas que han pasado de ser terrenos agrícolas o pastizales a ser superficie forestal en el periodo en cuestión 1989-1999.

En la tabla IV.10 se recoge la información que se representa en la figura IV.19 para cada municipio.

Tabla IV.10 Evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales en el periodo 1989-1999 por municipios de Coixtlahuaca

Municipio	Superficie municipio (km ²)	Superficie (km ²) de ganancias	% del municipio de ganancias	% de ganancias respecto a las totales	Superficie (km ²) de pérdidas	% del municipio o de pérdidas	% de pérdidas respecto a las totales
Concepción Buenavista	22.891,32	35,57	0,16	18,00	6,71	0,03	13,76
Santa Magdalena Jicotlán	3.369,55	5,53	0,16	2,80	0,74	0,02	1,53
San Cristóbal Suchixtlahuaca	3.301,59	4,37	0,13	2,21	0,44	0,01	0,90
San Francisco Teopam	8.679,15	15,29	0,18	7,74	1,45	0,02	2,98
San Juan Bautista Coixtlahuaca	28.594,85	30,12	0,11	15,24	6,37	0,02	13,07
San Mateo Tlapitepec	1.975,75	1,81	0,09	0,91	0,36	0,02	0,75
San Miguel Tequixtepec	21.003,72	20,37	0,10	10,31	9,11	0,04	18,69
San Miguel Tulancingo	4.840,14	7,51	0,16	3,80	0,77	0,02	1,59
Santa María Nativitas	4.345,99	4,63	0,11	2,34	0,66	0,02	1,34
Santiago Ihutlán Plumas	5.035,62	4,24	0,08	2,15	1,50	0,03	3,07
Santiago Tepetlpa	1.295,99	0,86	0,07	0,44	0,12	0,01	0,24
Tepelmeme Villa de Morelos	58.197,45	60,20	0,10	30,46	19,63	0,03	40,26
Tlacotepec Plumas	5.143,15	7,10	0,14	3,60	0,88	0,02	1,81
Total	168.674,27	197,60	1,58	100,00	48,75	0,29	100,00

En vista del mapa de la figura IV.19 y la tabla IV.10 los municipios: Tepelmeme Villa de Morelos, Concepción Buenavista, San Juan Bautista Coixtlahuaca y San Francisco Teopam son los que más se aumentan su superficie forestal.

En cuanto a las pérdidas de superficie forestal en el periodo 1989-1999, en el mapa que se representa en la figura IV.18 se aprecia que son mayoritarias en un “reguero” que recorre el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos. Estas pérdidas se localizan en la supercarretera 135 entre Oaxaca y el Distrito Federal.

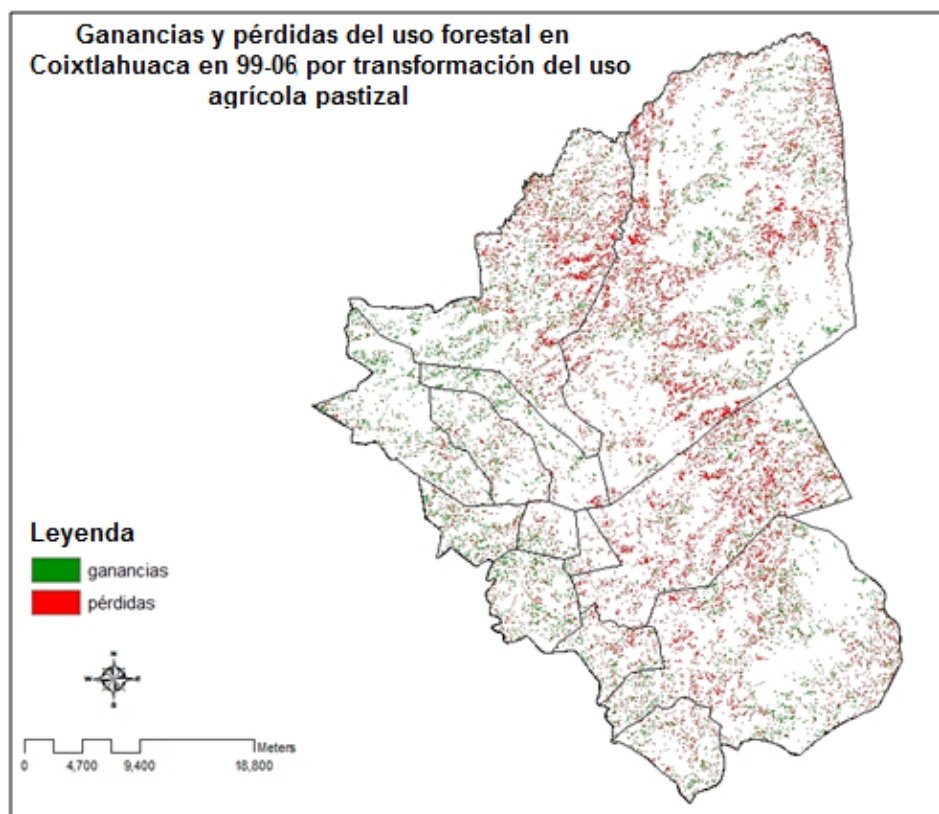


Fig. IV.20 Mapa de evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales para el periodo 1999-2006 en los municipios de Coixtlahuaca

Tabla IV.11 Evolución del uso forestal al uso agrícola y pastizales en el periodo 1999-2006 por municipios de Coixtlahuaca

Municipio	Superficie municipio (km ²)	Superficie (km ²) de ganancias	% del municipio de ganancias	% de ganancias respecto a las totales	Superficie (km ²) de pérdidas	% del municipio de pérdidas	% de pérdidas respecto a las totales
Concepción Buenavista	22.891,32	12,37	0,05	16,04	20,85	0,09	16,59
Santa Magdalena Jicotlán	3.369,55	2,85	0,08	3,70	1,83	0,05	1,46
San Cristóbal Suchixtlahuaca	3.301,59	1,70	0,05	2,20	2,40	0,07	1,91
San Francisco Teopán	8.679,15	6,20	0,07	8,04	2,02	0,02	1,61
San Juan Bautista Coixtlahuaca	28.594,85	12,85	0,04	16,66	18,09	0,06	14,39

Municipio	Superficie municipio (km ²)	Superficie (km ²) de ganancias	% del municipio de ganancias	% de ganancias respecto a las totales	Superficie (km ²) de pérdidas	% del municipio de pérdidas	% de pérdidas respecto a las totales
San Mateo Tlapiltepec	1.975,75	1,01	0,05	1,31	0,97	0,05	0,78
San Miguel Tequixtepec	21.003,72	6,20	0,03	8,04	24,42	0,12	19,43
San Miguel Tulancingo	4.840,14	3,85	0,08	4,99	2,54	0,05	2,02
Santa María Nativitas	4.345,99	2,13	0,05	2,76	2,58	0,06	2,05
Santiago Ihutlán Plumas	5.035,62	3,28	0,07	4,26	1,69	0,03	1,34
Santiago Tepetlpa	1.295,99	0,26	0,02	0,34	0,56	0,04	0,44
Tepelmeme Villa de Morelos	58.197,45	21,17	0,04	27,45	45,70	0,08	36,37
Tlacotepec Plumas	5.143,15	3,25	0,06	4,21	1,99	0,04	1,58
Total	168.674,27	77,11	0,70	100,00	125,66	0,78	100,00

En este periodo disminuye el uso forestal en 126 km² por evolución a la categoría conjunta de terrenos agrícolas y pastizales. Las pérdidas forestales en este periodo son mayores que las ganancias, por lo que la superficie forestal de Coixtlahuaca disminuye relativamente. Es relativa ya que la superficie forestal de Coixtlahuaca para el 2006, a pesar del descenso, es mayor que la del año 1989, año de partida de este estudio.

La figura IV.20 muestra que estas pérdidas se dan fundamentalmente en los municipios de Tepelmeme Villa de Morelos, San Miguel Tequixtepec, Concepción Buenavista y San Juan Bautista Coixtlahuaca. Estos cuatro municipios son los que más población presentan de todo el distrito, y además son de los que menos han descendido su porcentaje de población (figura IV.17 y figura IV.18).

Analizando la misma figura y la tabla IV.11, en el resto de municipios se aprecia un aumento general de la superficie forestal.

5.2.2. VEGETACIÓN AFECTADA POR LOS CAMBIOS DE SUPERFICIE FORESTAL

En los resultados del apartado anterior se indica que en el distrito el uso agrícola - pastizal es el uso principal al que evolucionan principalmente los terrenos forestales y viceversa. En este apartado el uso forestal se encuentra desglosado en los tipos de vegetación que existen en Coixtlahuaca para analizar cuáles son los que más experimentan aumentos o descensos de sus superficies.

A continuación se muestran dos gráficas que expresan las conversiones entre los grupos de vegetación y el uso conjunto terrenos agrícolas y pastizales. La primera de las gráficas expresa las ganancias de superficie forestal y la segunda las pérdidas, ambas expresadas para cada periodo: 1989-1999 y el 1999-2006.

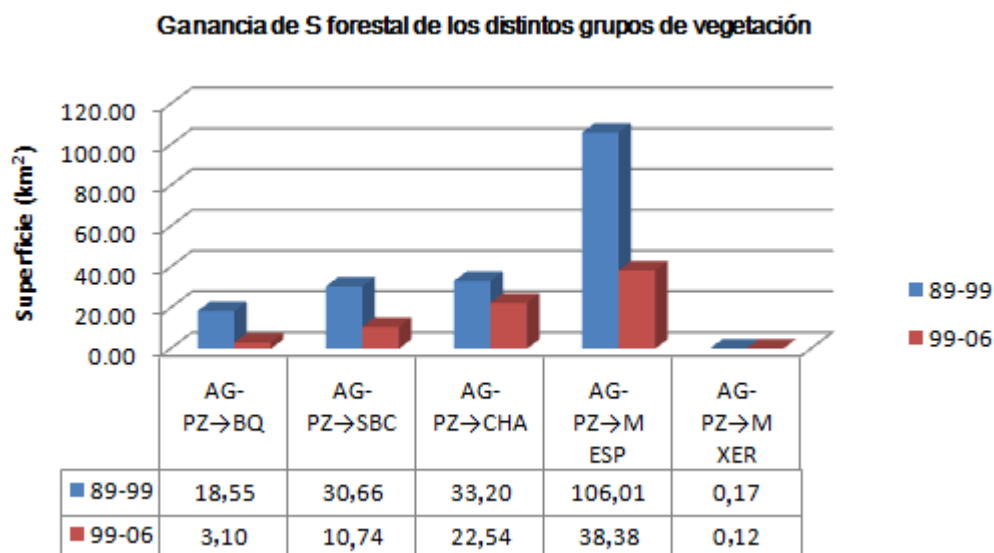


Fig. IV.21 Gráfico de barras que muestra las ganancias de superficie de cada uno de los grupos de vegetación de Coixtlahuaca a partir del uso agrícola-pastizal. AG-PZ→BQ: Terrenos agrícolas o pastizales a Bosque de Quercus spp., AG-PZ→SBC: Terrenos agrícolas o pastizales a Selva baja caducifolia, AG-PZ→CHA: Terrenos agrícolas o pastizales a Chaparral, AG-PZ→M ESP: Terrenos agrícolas o pastizales a Matorral espinoso, AG-PZ→M XER: Terrenos agrícolas o pastizales a Matorral xerófilo.

En el periodo 1989-1999 se experimenta más ganancia forestal, como figura en párrafos anteriores. Todos los grupos de vegetación experimentan más ganancia forestal en este periodo que en 1999-2006 (fig. IV.21).

- En este periodo el Matorral espinoso es sin duda el que más aumenta su distribución, con 106 km² ganados a los terrenos agrícolas o pastizales.
- El Chaparral, la Selva baja caducifolia y Bosque de Quercus spp. aumentan su distribución en 33, 31 y 19 km² respectivamente.

En vista a estos resultados se considera oportuno mencionar que el Matorral espinoso y el Chaparral son, según se describe en la descripción del medio, los que presentan especies consideradas como vegetación secundaria.

En el periodo 1999-2006 también se experimentan aumentos de superficie de los terrenos forestales. Este incremento se da de igual manera que en el primer periodo: el grupo

de vegetación que más aumenta su superficie es el Matorral espinoso, seguido del Chaparral, Selva baja caducifolia y Bosque de Quercus spp. respectivamente.

- El Matorral espinoso aumenta en 38 km². Chaparral, Selva baja caducifolia y Bosque de Quercus spp. aumentan respectivamente 23, 11 y 3 km².

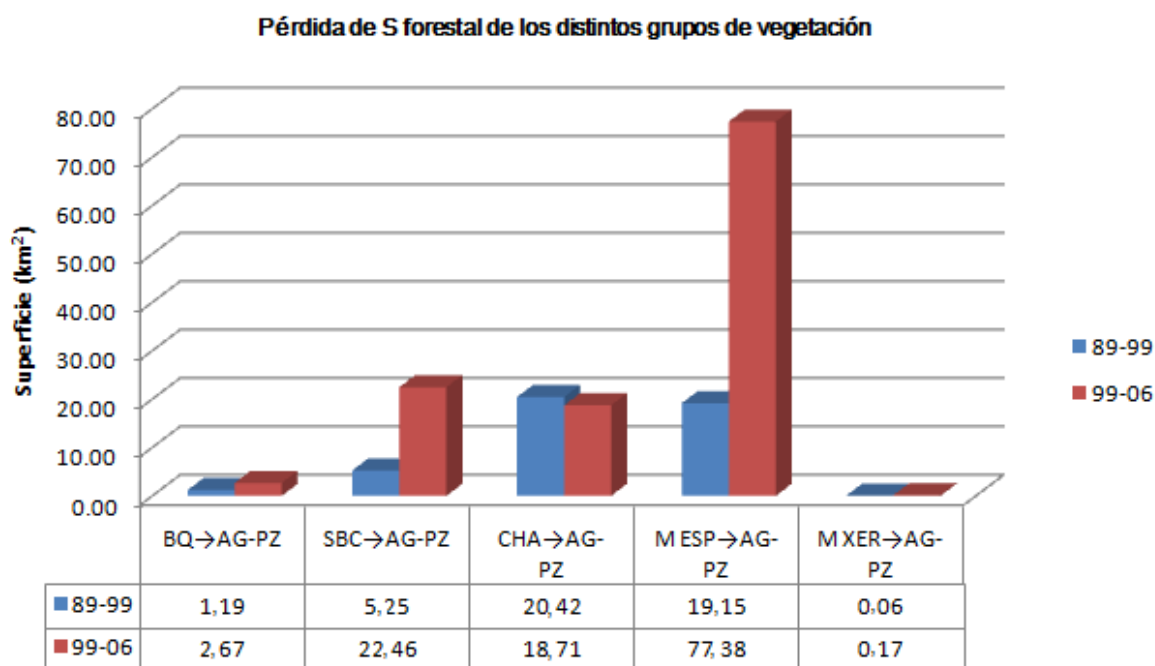


Fig. IV.22 Gráfico de barras que muestra las pérdidas de superficie de cada uno de los grupos de vegetación de Coixtlahuaca a partir del uso agrícola-pastizal. BQ→AG-PZ: Bosque de Quercus spp. a terrenos agrícolas o pastizales, SBC→ AG-PZ: Selva baja caducifolia a terrenos agrícolas o pastizales, CHA →AG-PZ: Chaparral a terrenos agrícolas o pastizales, M ESP →AG-PZ: Matorral espinoso a terrenos agrícolas o pastizales, M XER →AG-PZ: Matorral xerófilo a terrenos agrícolas o pastizales.

Como se comenta anteriormente, las pérdidas resultan mayores en el segundo periodo que en el primero. Por esta razón hay un descenso relativo de la superficie forestal entre 1999 y 2006.

Analizando el periodo 1989-1999:

- El Chaparral y Matorral espinoso son los tipos de vegetación que más pierden superficie. Ambos grupos de vegetación se reducen en aproximadamente 20 km².
- Selva baja caducifolia y Bosque de Quercus spp. les siguen en cuanto a superficie. Estos grupos de vegetación se deforestan en 5 y 1 km² respectivamente.

En el periodo 1999-2006:

- El Matorral espinoso es el grupo de vegetación que más superficie pierde, 77 km².
- Selva baja caducifolia, Chaparral y Bosque de Quercus spp. pierden respectivamente 22, 19 y 3 km² en este periodo.

A modo de resumen se expresan a continuación las principales ganancias y pérdidas en cada periodo de los distintos tipos de vegetación con el uso agrícola pastizal (tabla IV.12). Entre paréntesis se expresa la superficie de cambio en km² del tipo de vegetación en concreto con respecto al uso agrícola pastizal.

Tabla IV.12 Principales pérdidas y ganancias en el uso forestal respecto al uso agrícola pastizal

	Ganancias	Pérdidas
1989-1999	Matorral espinoso (106 km ²)	Matorral espinoso (20 km ²)
	Chaparral (33 km ²)	
	Selva baja caducifolia (31 km ²)	Chaparral (20 km ²)
	Bosque de Quercus spp. (19 km ²)	
1999-2006	Matorral espinoso (38 km ²)	Matorral espinoso (77 km ²)
		Selva baja caducifolia (22 km ²)
	Chaparral (23 km ²)	Chaparral (19 km ²)

Suelo desnudo y los distintos tipos de vegetación

Como se comenta en párrafos anteriores, hay grupos de vegetación que han conseguido reforestar suelos desnudos en este periodo de estudio. Es especialmente llamativo los 10 km² de superficie del periodo 89-99 que se citan en el apartado de ganancias forestales. En la grafica que se muestra a continuación se muestran las conversiones entre el suelo desnudo y los diferentes tipos de vegetación.

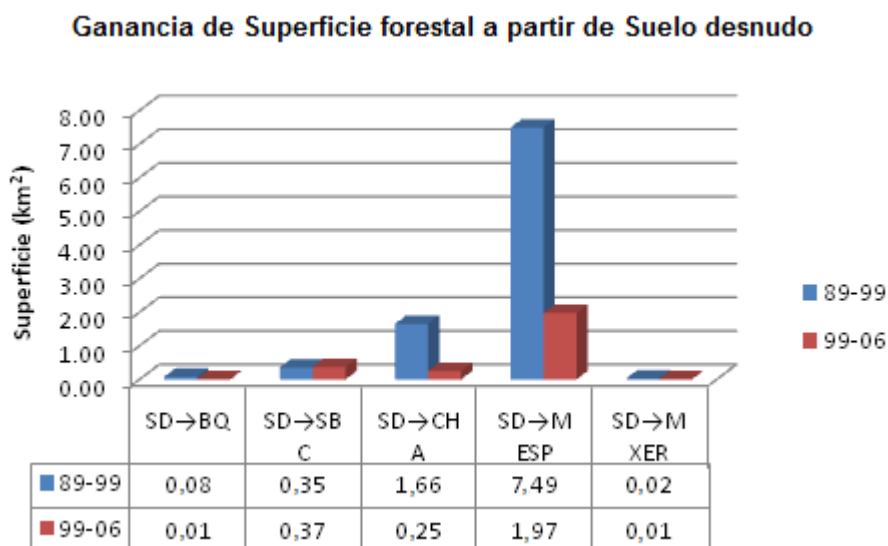


Fig. IV.23 Ganancia de superficie forestal a partir de suelo desnudo. SD→BQ: Suelo desnudo a Bosque de Quercus spp., SD→SBC: Suelo desnudo a Selva baja caducifolia, SD→CHA: Suelo desnudo a Chaparral, SD→M ESP: Suelo desnudo a Matorral espinoso, SD→M XER: Suelo desnudo a Matorral xerófilo.

La figura anterior muestra que el Matorral espinoso es el más capaz de reforestar los suelos desnudos. El Chaparral es el segundo tipo de vegetación que recupera más superficie de suelos desnudos. Precisamente el Matorral espinoso y el Chaparral son los tipos de vegetación que presentan especies consideradas como vegetación secundaria, tal y como se describe en la descripción del medio.

Otros tipos de vegetación

Hay determinados grupos de vegetación que, aunque no se les haya hecho referencia en el análisis temporal porque no presentan importantes conversiones con el uso agrícola pastizal, sí presentan cambios observando los tres mapas de los años 1989, 1999 y 2006 (fig. IV.24).

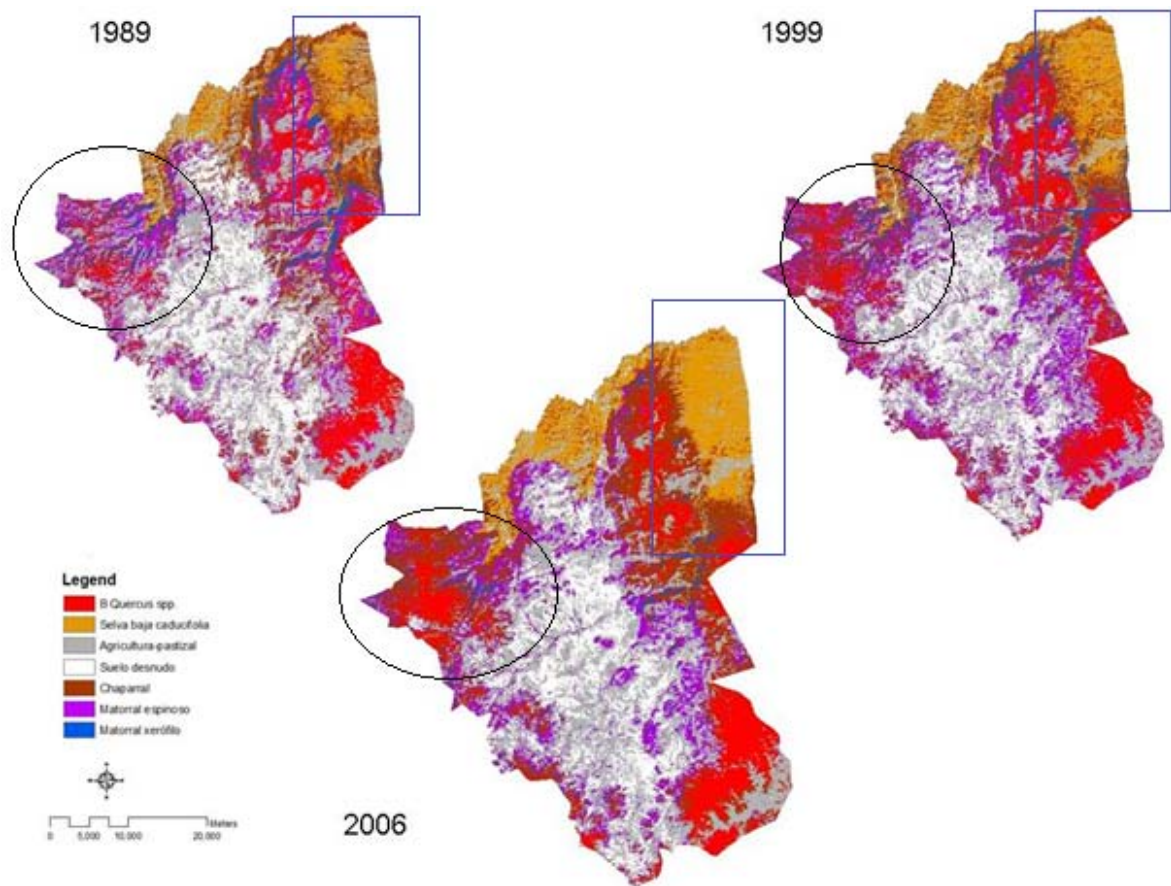


Fig. IV.24 Mapas de uso y vegetación de los años 1989, 1999 y 2006. En el rectángulo azul que aparece en el noreste de Coixtlahuaca se refleja el cambio la Selva baja caducifolia. En el óvalo negro se representa el cambio del matorral xerófilo y Bosque de Quercus spp. en el oeste del distrito.

En vista del óvalo en color negro de la figura IV.24, el Matorral xerófilo pierde en el periodo completo una importante extensión a costa de los chaparrales en el oeste del distrito. A su vez, el Bosque de Quercus spp. aumenta su extensión a costa del Matorral espinoso. Estos cambios han ocurrido en el municipio de Concepción Buenavista y San Francisco Teopam.

En el recuadro azul que se representa en los mapas de los tres años de estudio (fig.IV.24) se observa cómo año tras año van desapareciendo las manchas de Chaparral inmersas en la Selva baja caducifolia. Estos cambios se localizan en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos.

Debido a que en el presente proyecto se pretende evaluar los cambios de uso de suelo, no se profundiza más en este aspecto más que la descripción visual de los mapas año tras año efectuada. En el apartado de discusión de resultados se plantean las posibles causas de estas transformaciones.

5.3. EVOLUCIÓN DEL SUELO DESNUDO

En este apartado se analiza la evolución de este uso en Coixtlahuaca entre el año 1989 y el 2006.

Se representa en la figura IV.24 las principales conversiones de este uso hacia los demás en el distrito de Coixtlahuaca:

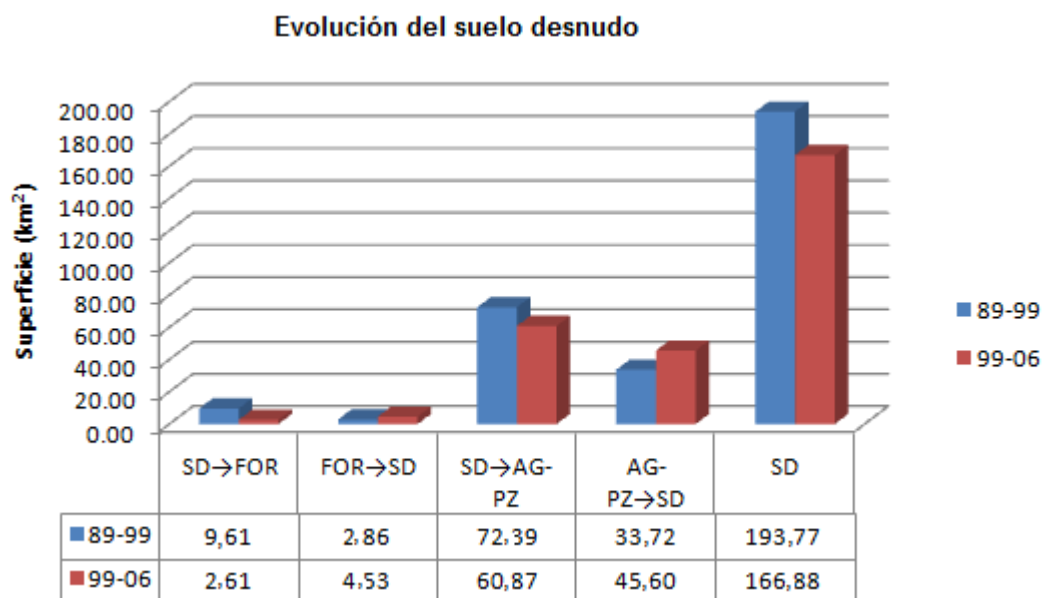


Fig. IV.25 Evolución del uso suelo desnudo con el resto de usos (uso forestal y uso agrícola-pastizal) en los periodos de tiempo 89-99 y 99-06. SD→FOR: suelo desnudo a terrenos forestales, FOR→SD: terrenos forestales a suelo desnudo, SD→AG-PZ: Suelo desnudo a terrenos agrícolas o pastizales, AG-PZ→SD: Terrenos agrícolas o pastizales a suelo desnudo. SD: Terrenos con suelo desnudo que no cambian de uso en el periodo de tiempo considerado.

Analizando la gráfica anterior (fig. IV.25), en ambos periodos de estudio aumenta la superficie de los terrenos agrícolas o pastizales por reconversión de terrenos con suelo desnudo. Esto significa sin duda una mejoría de la situación de degradación de Coixtlahuaca. La conversión hacia superficies forestales ha sido ya comentada en el apartado anterior.

En el primer periodo se ve claramente que las ganancias son mayores que las pérdidas. Para el segundo periodo las superficies están más igualadas pero siguen siendo mayores las ganancias, (fig. IV.25). El balance total es que la superficie sin cubierta vegetal disminuye en Coixtlahuaca entre 1989 y 2006 en 70 km², como se anticipa al comienzo del apartado de resultados.

Es importante mencionar que, a pesar de este descenso de la superficie de suelo desnudo, la extensión continua siendo muy elevada. Por esta razón se sigue justificando realizar el estudio de la erosión.

A continuación se representan en un mapa del distrito de Coixtlahuaca los pixeles que han cambiado su categoría de suelo desnudo en cada periodo de estudio. En verde se representa a los pixeles que han cambiado en el periodo considerado de ser terrenos con suelo desnudo a terrenos agrícolas o pastizales. Y en rojo se representa la conversión inversa. Esta representación se resultados representa en verde a lo que en realidad son pérdidas de superficie del uso en cuestión y en rojo las ganancias. Se ha considerado más gráfico representarlo de esta manera debido a que es más fácilmente comprensible: lo verde se asocia a aspectos de mejoría (disminución de la superficie de suelo desnudo) y lo rojo a empeoramientos (aumento de suelo desnudo).

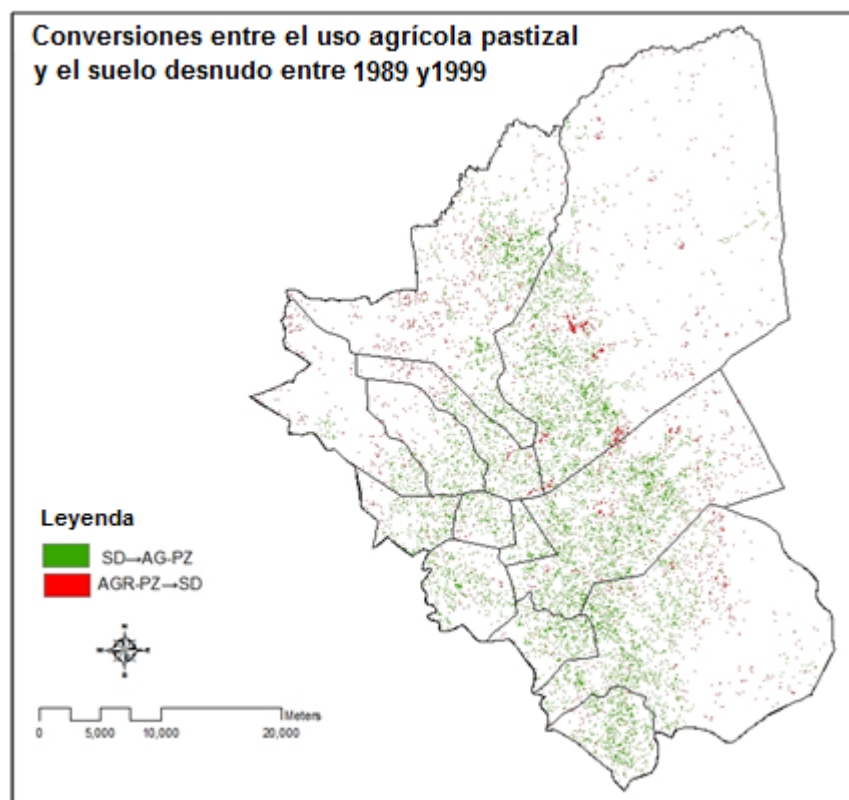


Fig. IV.26 Mapa de evolución del uso agrícola y pastizales a terrenos con suelo desnudo para el periodo 1989-1999 en los municipios de Coixtlahuaca. SD→AG-PZ: Conversiones de Suelo desnudo a terrenos agrícolas o pastizales; AG-PZ→SD: conversiones de terrenos agrícolas o pastizales a Suelo desnudo.

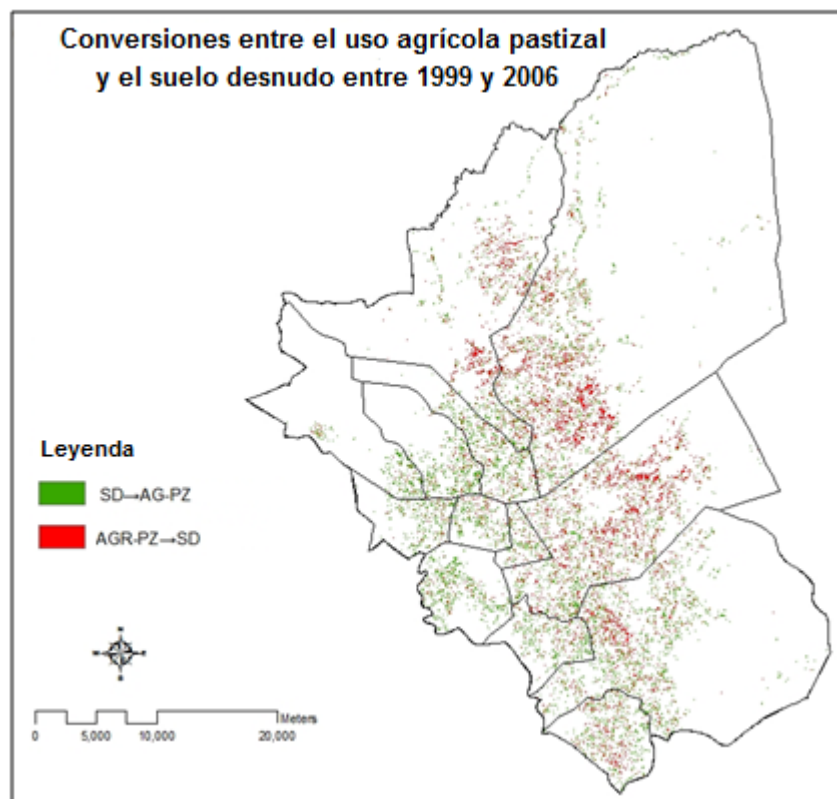


Fig. IV.27 Mapa de evolución del uso agrícola y pastizales a terrenos con suelo desnudo para el periodo 1999-2006 en los municipios de Coixtlahuaca

En el primer periodo se observa que existe un aumento generalizado por todo el distrito de las superficies dedicadas a la agricultura o pastizales por conversión de terrenos con suelo desnudo (fig.IV.26).

Para el segundo periodo se observa que los municipios de Tepelmeme Villa de Morelos, Concepción Buenavista, San Miguel Tequixtepec, San Juan Bautista Coixtlahuaca y Santa María Nativitas son donde se dan las pérdidas más importantes a suelo desnudo (fig.IV.27), en la parte central de Coixtlahuaca.

No se realiza en este proyecto un apartado independiente para el uso conjunto agrícola pastizal. La razón es que ya han sido desarrollados sus principales tendencias y cambios de superficie en los apartados correspondientes al resto de usos. Se considera por tanto una repetición de la información innecesaria.

6. ESTUDIO DE LA EROSIÓN

Resulta complementario e interesante a un estudio de la evolución de usos de suelo, una evolución paralela de las predicciones de las pérdidas de suelo por erosión. Además, aunque de forma aproximada como se describe en metodología, los resultados de este estudio revelan la importancia de las pérdidas de suelo en la región.

A continuación se exponen los resultados de los factores del modelo RUSLE y las pérdidas de suelo según el apartado 7 de la metodología del presente proyecto.

R, factor de erosividad de la lluvia

El valor del factor R del modelo RUSLE puede ser extraído de dos fuentes: los datos del pluviógrafo de San Esteban del Progreso y las ecuaciones de Cortes (1991) para el cálculo de R de todo México.

Tabla IV.13 Valores del factor R

	Región V (México)	Pluviógrafo
2008	2.308,57	2.445,24
2009	2.433,80	2.609,42

Los valores obtenidos de los registros del pluviógrafo y de la región V de México difieren algo entre sí. Se maneja en este proyecto el valor de R obtenido del pluviógrafo ya que este dato no está calculado para una región entera de México y es más preciso su valor.

El valor de R se obtiene de la media de los valores del pluviógrafo para los años disponibles de datos, 2008 y 2009. De esta forma, el valor de R resultante para Coixtlahuaca es de 2.527 MJ*mm/ha*h. Según la clasificación de Mannaerts (1999) se puede clasificar como medio, aunque cercano al rango clasificado como “alto” según esta misma clasificación.

Tabla IV.14 Clasificación del factor R (Mannaerts, 1999)

Clase	R
Muy baja	<500
Baja	500-1000
Mediana	1000-3000
Alta	3000-6000
Muy alta	>6000

K, factor de susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica

Al introducir en la tabla que se muestra en metodología las unidades de suelo según la clasificación FAO y su textura se establecen los siguientes valores de K:

Tabla IV.15 Valores del factor K en los suelos de Coixtlahuaca

Suelo		Textura	K
Regosol		Media	0,04
Fluvisol		Media	0,04
Cambisol		Media	0,04
Luvisol		Media-gruesa	0,032
Leptosol	lítico	Media-gruesa	0,018
	réndzico	Media-gruesa	0,018
	háplico	Media-gruesa	0,018
Leptosol nudilítico			0,200

C, factor de cobertura vegetal

Los valores del factor C para cada uso del suelo de Coixtlahuaca según la tabla de Wischmeier y Smith (1978) son:

Tabla IV.16 Tabla para el cálculo del factor C en Coixtlahuaca, Wischmeier y Smith (1978).

Uso del suelo	Cobertura aérea, tipo y altura	% de cobertura	P/ M*	% de la cobertura en contacto con la superficie del suelo	Factor C
Bosque de Quercus spp.	Promedio de caída de gotas de 2m.	75	P	60	0,036
Selva Baja Caducifolia	Promedio de caída de gotas de 2m.	75	P	20	0,140
Agricultura Pastizal	Cobertura no apreciable		P	40	0,100
Suelo desnudo	-	-	-	-	1,000
Chaparral	Promedio de caída de gotas de 2m.	75	P	80	0,012
Matorral espinoso	Promedio de caída de gotas de 2m.	75	M	40	0,140
Matorral xerófilo	Promedio de caída de gotas de 50cm.	75	P	20	0,100

*P/M, Pastos o Malezas en el sotobosque

Se establece un mapa del factor C en formato raster para cada año de estudio 1989, 1999 y 2006 según los mapas de vegetación y usos del suelo.

P, factor de prácticas de conservación

Para establecer el valor del factor P, se evalúa qué obras de conservación de suelo se dan en Coixtlahuaca y se elige a continuación como factor P un valor aproximado único para todas ellas. La causa de existir un único valor de este factor es que no se dispone de la información completa acerca de las características de cada obra de Coixtlahuaca, únicamente de su localización. El valor utilizado de P en aquellas zonas donde existan obras de conservación de suelos es $P = 0,65$.

Aquellos terrenos en donde no se da ningún tipo de práctica para prevenir la erosión presentan en el modelo RUSLE de un valor de P igual a 1.

Una vez calculados todos los factores del modelo RUSLE, se generan, mediante el programa ArcGis 9.2, los mapas de predicción de pérdida de suelo por erosión para los años 1989, 1999 y 2006. Cada uno de los mapas se obtiene como producto de todos los factores en cada año; el único factor que varía es el factor de cobertura vegetal C, aspecto que se detalla en metodología.

El resultado del modelo RUSLE son tres mapas en los que en cada pixel figura qué cantidad de suelo estimada se pierde a causa de las lluvias en $\text{ton/ha} \cdot \text{año}$:

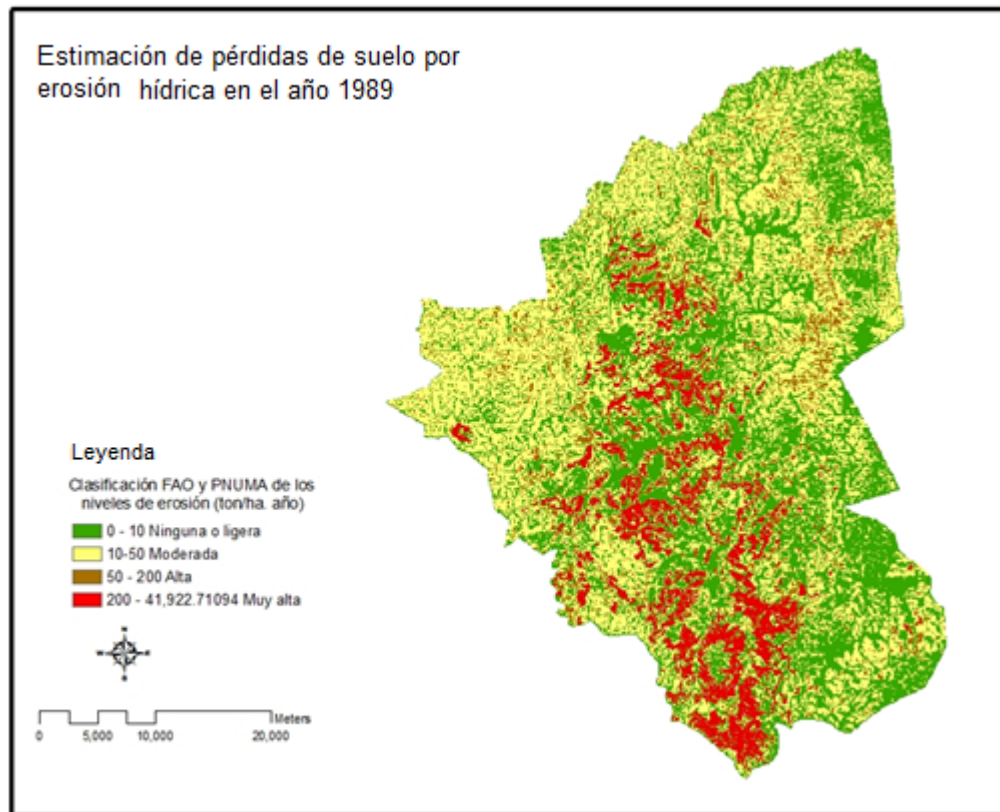


Fig. IV.28 Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Coixtlahuaca en el año 1989

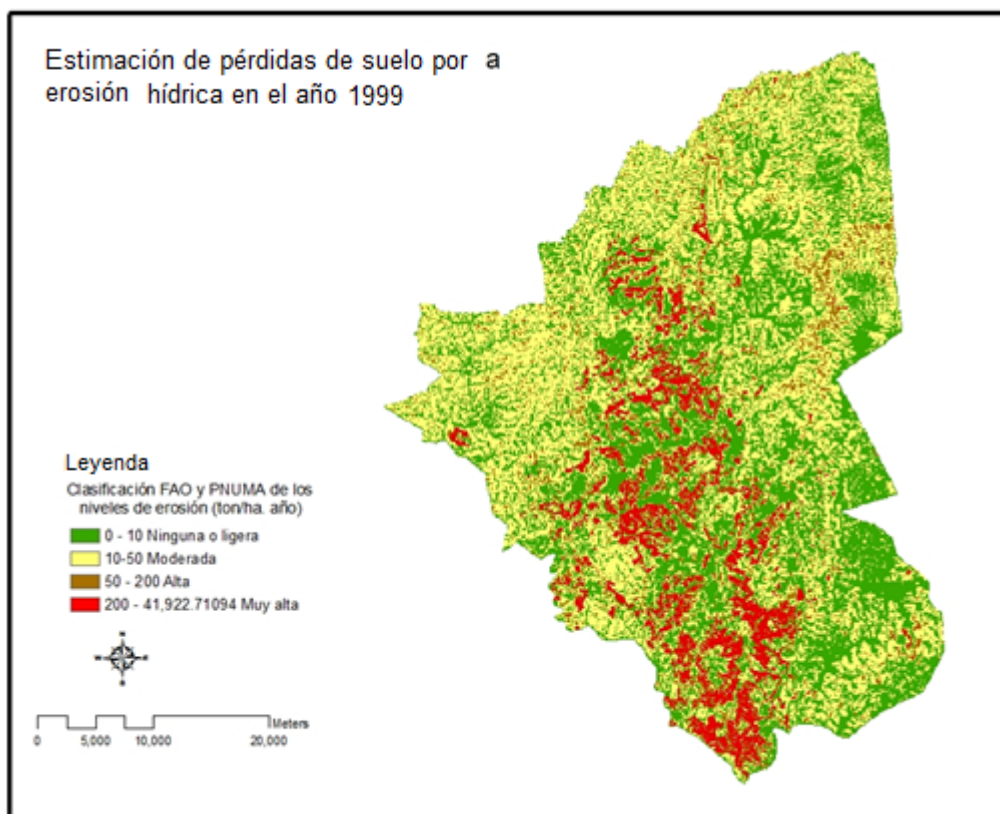


Fig. IV.29 Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Coixtlahuaca en el año 1999

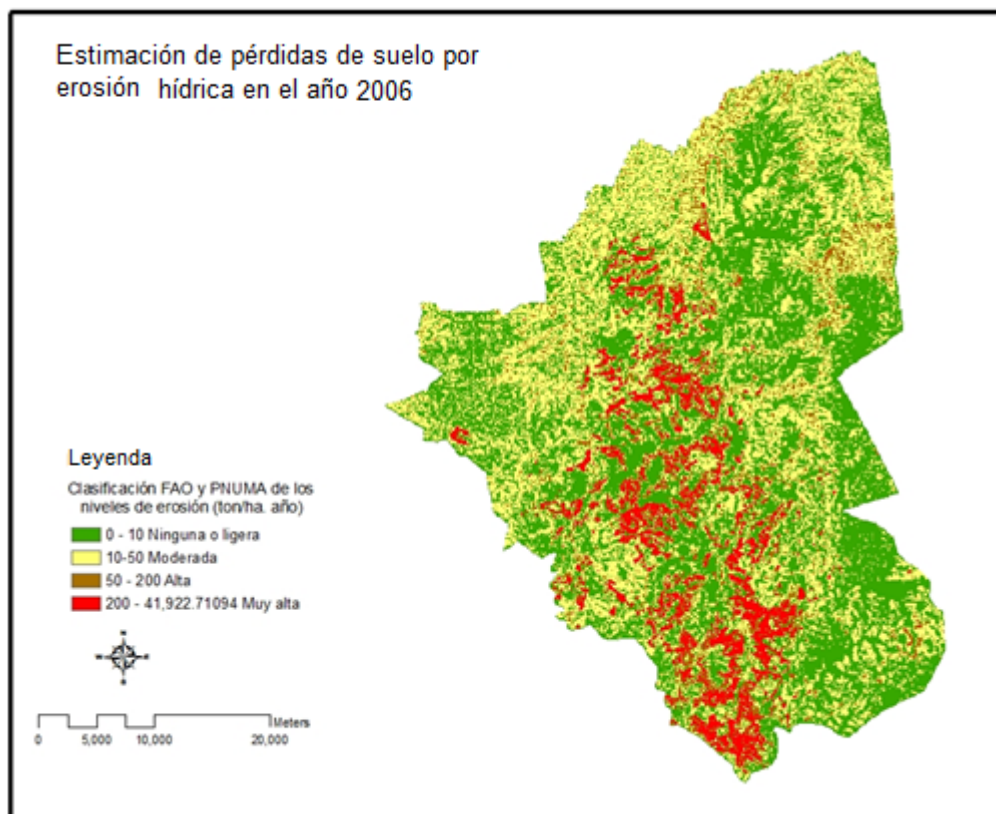


Fig. IV.30 Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Coixtlahuaca en el año 2006.

Como se puede apreciar en las figuras IV.28, IV.29 y IV.30, la parte central de Coixtlahuaca es la que presenta la erosión más severa; se trata de la zona más poblada en la historia de Coixtlahuaca y a día de hoy. Además, existe una zona roja que refleja muy alta erosión en el occidente del distrito, en el que está la comunidad de Llano Grande, perteneciente al municipio de San Francisco Teopam.

Analizando las tres figuras anteriores se puede observar como fundamentalmente en las partes más externas de Coixtlahuaca van desapareciendo, según se avanza en años, las manchas amarillas (erosión moderada) para pasar a ser verdes (erosión nula o ligera).

A continuación, tal y como se explica en metodología, se concreta la superficie de Coixtlahuaca afectada por cada tipo de erosión que figura en los mapas anteriores (Fig. IV.28, IV.29 y IV.30)

Tabla IV.17 Superficies afectadas en Coixtlahuaca por los distintos tipos de erosión en el año 1989 según la clasificación FAO y PNUMA (1989)

1989	Superficie (ha)	% respecto a Coixtlahuaca
erosión nula o leve (<10 ton/ha.año)	97.172,88	57,55
erosión media (10-50 ton/ha.año)	45.493,96	26,95
erosión alta (50-200 ton/ha.año)	15.811,42	9,37
erosión muy alta (>200 ton/ha.año)	10.361,792	6,14
Total	168.840,05	100,00

Tabla IV.18 Superficies afectadas en Coixtlahuaca por los distintos tipos de erosión en el año 1999 según la clasificación FAO y PNUMA (1989)

erosión 99	Superficie (ha)	% respecto a Coixtlahuaca
erosión nula o leve (<10 ton/ha.año)	99.229,25	58,77
erosión media (10-50 ton/ha.año)	45.063,06	26,69
erosión alta (50-200 ton/ha.año)	15.068,37	8,92
erosión muy alta (>200 ton/ha.año)	9.479,36	5,61
Total	168.840,05	100,00

Tabla IV.19 Superficies afectadas en Coixtlahuaca por los distintos tipos de erosión en el año 2006 según la clasificación FAO y PNUMA (1989)

erosión 2006	Superficie (ha)	% respecto a Coixtlahuaca
erosión nula o leve (<10 ton/ha.año)	104.149,16	61,68
erosión media (10-50 ton/ha.año)	42.213,01	25,00
erosión alta (50-200 ton/ha.año)	13.421,13	7,95
erosión muy alta (>200 ton/ha.año)	9.056,75	5,36
Total	168.840,05	100,00

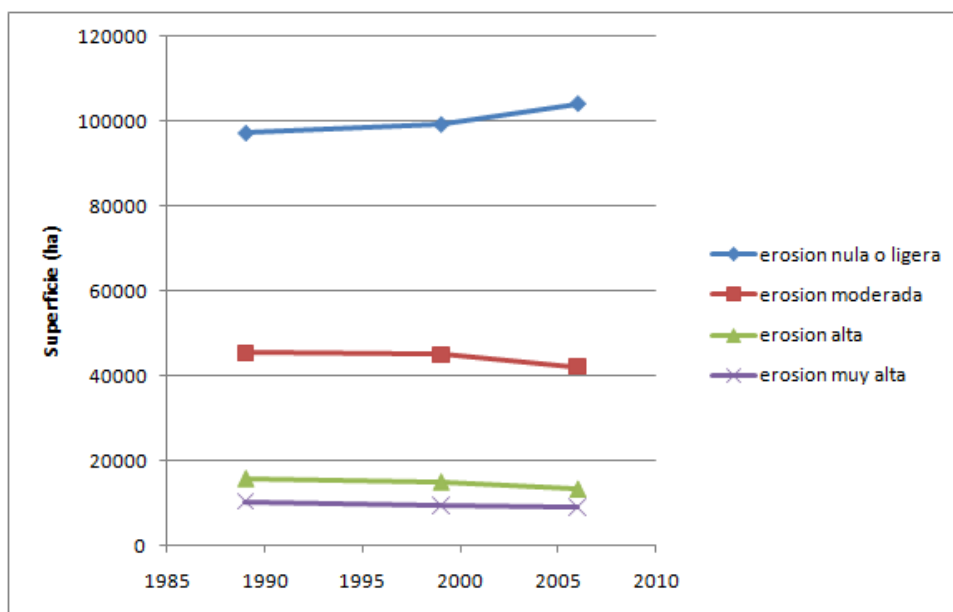


Fig. IV.31 Evolución de las superficies de Coixtlahuaca en los tres años de estudio clasificadas en los tipos de erosión FAO y PNUMA (1989)

Se puede observar al analizar la figura y las tablas anteriores (Fig. IV.31 y tablas IV.18, IV.17 y IV.16) como disminuyen las superficies afectadas por erosión moderada, alta y muy alta; fundamentalmente la primera de ellas. A su vez, se aprecia como aumenta constantemente la erosión nula o ligera.

Se acompaña a los resultados anteriores de los cálculos de pérdidas de suelo para todo Coixtlahuaca. Estos cálculos están basados en el procedimiento descrito en el apartado 7.2 de metodología.

Como resultado de la estimación de pérdidas de suelo en cada año por erosión hídrica para todo el distrito de Coixtlahuaca se obtiene la tabla IV.20.

Tabla IV.20 Pronóstico de pérdidas de suelo en Coixtlahuaca en cada año según modelo RUSLE

Estimación para el año	Pérdidas de suelo (ton/año)
1989	13 108.565,7
1999	12 032.949
2006	11 291.496,5

Los resultados que aparecen en la tabla anterior son orientativos, como se menciona anteriormente; no obstante en ella se aprecia un descenso claro de la previsión de la pérdida de suelo con los años.

V. DISCUSIÓN

1. DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS TEMPORAL

Cualquier persona que visite el distrito que se estudia en este proyecto sin duda se quedará atónito ante las grandes extensiones de terreno blanco sin ninguna vegetación (material llamado por la población como “caliche”) y las profundas cárcavas; y se planteará inevitablemente la siguiente cuestión: ¿cuánto tiempo lleva este distrito en esta situación? Según la documentación pertinente y los propios habitantes de Coixtlahuaca, recogida en el apartado de Reseña histórica, la respuesta es clara: desde hace mucho tiempo.

Con las razones ya expuestas de la situación de Coixtlahuaca de manera general, en este proyecto se evalúan los cambios en los usos del suelo a partir de 1989. En este año, tal y como se observa en el mapa correspondiente del apartado de resultados, la situación era similar a la actual. La situación es similar en cuanto a que las grandes extensiones de caliche y cárcavas siguen existiendo en la actualidad y no ha habido una reforestación masiva de todo este vasto territorio (fig.V.1). Sin embargo sí se han dado interesantes cambios que se discuten a continuación.

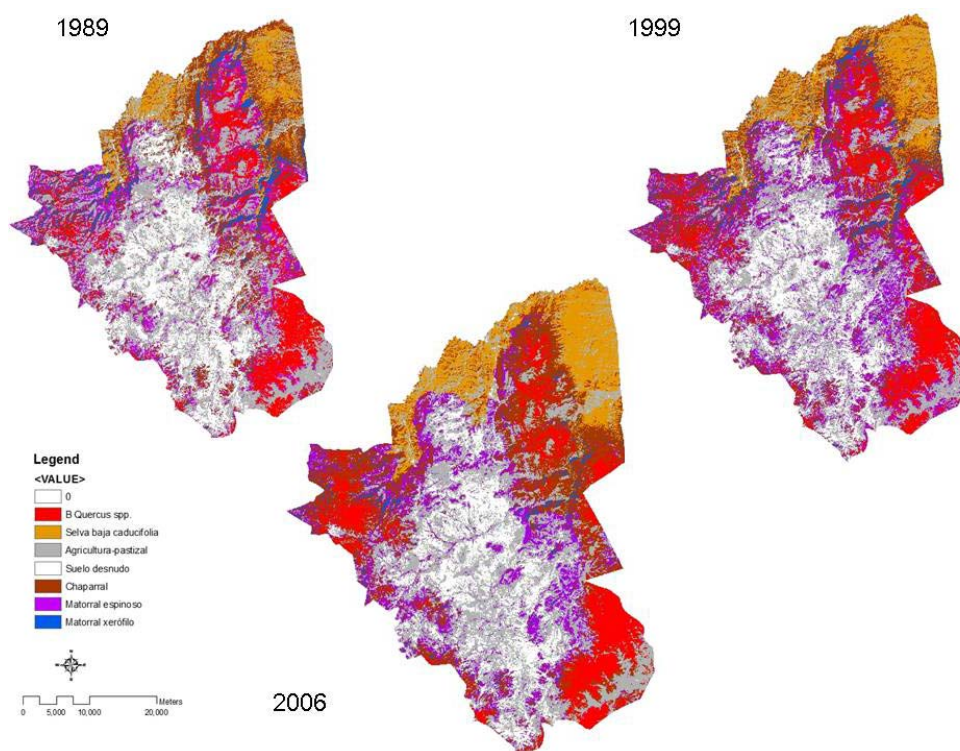


Fig. V.1 Mapas de usos de suelo y vegetación para los años 1989, 1999 y 2006.

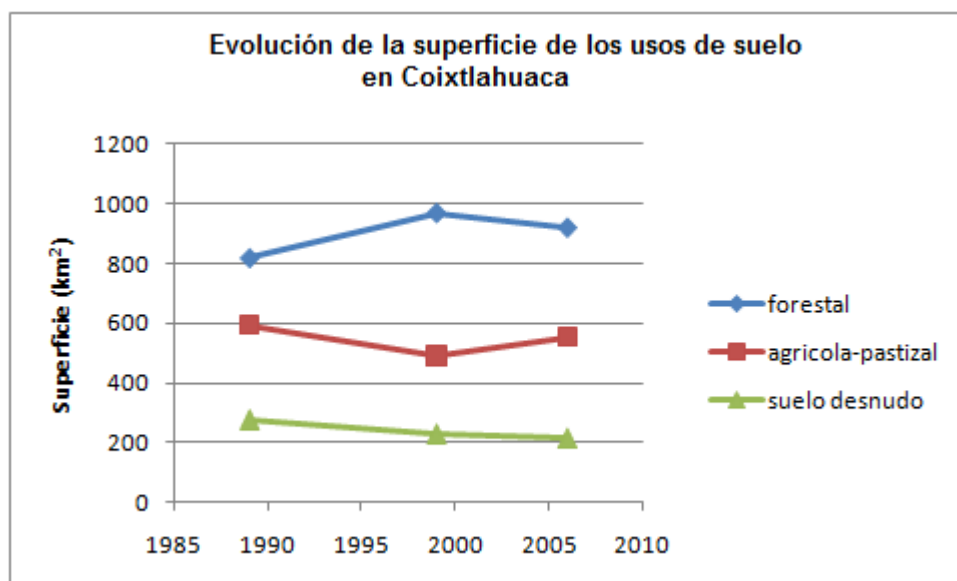


Fig. V.2 Evolución de la superficie de los usos de suelo en Coixtlahuaca desde el año 1989

En vista de los resultados del análisis temporal las gráficas muestran que hay un aumento neto de la superficie forestal en 100km² (fig.V.2). En los mapas del apartado de resultados se expresa que este aumento se da de forma generalizada en todo Coixtlahuaca. A su vez se observa un descenso claro de la superficie de suelo desnudo. Por estas razones se puede hablar de una mejora relativa de Coixtlahuaca. Esta mejora es relativa debido a que se continúa con una superficie aún muy extensa sin apenas vegetación y muy susceptible a la erosión.

La razón fundamental de cambio es probablemente la emigración. Las tierras de cultivo son abandonadas ante la falta de población que desee cultivarlas, además de por la pérdida de fertilidad comentada. En estos cultivos comienzan a aparecer arbustos y árboles frugales, si la presión ganadera lo permite. Este hecho se verifica tanto con las salidas de campo como por la opinión de los habitantes del pueblo, que afirman que la juventud emigra y no quiere continuar con las labores agrícolas y ganaderas de sus padres.



Fig. V.3 Abandono de tierras agrícolas en San Miguel Tulancingo

Como resultado de la emigración también ha descendido el ganado caprino, fuente de problemas por el elevado número de cabezas que ha llegado a pastar en este territorio y su tendencia natural a ramonear. Además, consecuencia también de la emigración, hay una clara tendencia a cambiar el ganado caprino por ovino, según se observa en salidas al distrito, conversaciones con la población y personal de la Reserva de la Biosfera. Esta tendencia se explica por el aumento de la edad media de los habitantes a causa de la emigración de los jóvenes; sin duda es mucho más costoso para el pastor un rebaño de cabras que de ovejas. El ganado ovino puede pastar en las inmediaciones de la población en terrenos en barbecho o pastizales cercanos sin tener el pastor que andar largas distancias. Por suponer menos atención para el pastor, también pueden dedicar el tiempo de pastoreo a otras tareas como confeccionar sombreros de palma y otros quehaceres de la vida diaria de la población ante la falta de recursos económicos. El ganado ovino, menos ramoneador y andador que el caprino, supone sin duda menos riesgo para la cubierta forestal del explotado distrito de Coixtlahuaca. Y así, el aumento del ganado ovino y descenso del caprino, por la naturaleza de ambos tipos de ganado, puede relacionarse con el aumento de la superficie forestal que se ha dado en Coixtlahuaca desde el año 1989.



Fig. V.4 Ganado caprino en una ladera de alta pendiente con vegetación de Selva baja caducifolia (Tepelmeme Villa de Morelos)

Todas las razones de mejora de Coixtlahuaca están relacionadas con la emigración, como se ha podido ver en los párrafos anteriores. La extracción de leña es una razón más, aunque también está relacionada con el mejor nivel de vida de algunas poblaciones. Como consecuencia directa del descenso de la población hay un descenso de los requerimientos de leña, aunque como se ha podido observar en las salidas al distrito, se sigue extrayendo. La demanda de leña por parte de la población es bien por no disponer de recursos económicos para comprar gas, o bien por directamente no tener la posibilidad de comprar gas debido a que este recurso no llega a muchas localidades. En estos últimos años está aumentando el servicio de gas, probablemente por la mejora de las comunicaciones en algunas localidades por la construcción de la supercarretera 135. Este acercamiento, como se comenta en el apartado de comunicaciones, es relativo ya que la gran mayoría de las comunidades se encuentran muy aisladas. La organización de la Reserva de la Biosfera Tehuacán Cuicatlán, espacio protegido que incluye parte de Coixtlahuaca, está haciendo a su vez una importante labor en todo el distrito de sensibilización de la población de la extracción racional de leña y su uso más eficaz.

El Matorral espinoso y el Chaparral han resultado ser los grupos de vegetación que más aumentan su superficie a costa de los terrenos agrícolas y pastizales. Este hecho se explica por lo citado anteriormente sobre el abandono de tierras agrícolas y el descenso del ganado, especialmente el caprino. Tras el abandono de terrenos agrícolas, las especies de estos dos grupos de vegetaciones son las más frugales para recuperar de manera progresiva estos terrenos. Sin embargo, estos dos grupos de vegetación constituyen la vegetación más accesible para la población de la zona más habitada, la zona central. La población extrae leña de los cerros cercanos en los que crece esta vegetación, tal y como se explica en el análisis

espacial. Por tanto, las pérdidas y ganancias importantes de estos grupos de vegetación corresponden con demandas de la población de esta vegetación en tendencia decreciente ya que, aunque se siga consumiendo leña, pastoreando el ganado, etc. hay ganancia neta de superficie forestal.

En la figura V.1 se puede observar que desciende la superficie de Matorral xerófilo en Coixtlahuaca entre 1989 y 2006, tal y como también se menciona en resultados. Esto puede ser causa de la extracción de algunas especies para construcción de sombreros, hasta ahora muy elaborados por la población. A su vez, algunos programas del gobierno federal podrían explicar este hecho, como un plan del estado de alimentación de ganado caprino a base de cactáceas (Leyva, 2009). Aunque resulte extraordinario, en las salidas por el distrito se ha visto comer a ganado ovino, caprino y asnal plantas suculentas con gran cantidad de espinas. Por lo que se desecha que el ganado no consuma especies de este grupo de vegetación aparentemente no apto. A día de hoy, al descender el ganado de manera general y comenzar la confección de sombreros a realizarse con plástico, no se espera que continúe descendiendo la superficie de Matorral xerófilo.

En los resultados se expone que los Bosques de *Quercus* spp. ven aumentada su superficie en el primer periodo 1989-1999 a costa de terrenos agrícolas o pastizales. Además, también se expone que se aprecia en la parte oeste de Coixtlahuaca un aumento desde 1989 a costa del Matorral espinoso, hasta prácticamente formarse en el 2006 una única “extensión”. Esta aumento de los Bosques de *Quercus* spp. puede ser debido de nuevo a la emigración en el distrito y al carácter secundario de algunas especies del Matorral espinoso. Aun así la extracción de leña de estos bosques se sigue realizando a cabo debido a que es la mejor leña y que en numerosas ocasiones, como se comenta a lo largo de todo el proyecto, no llega otra fuente de energía a la comunidad.

En resultados se identifica un reguero de pérdidas forestales en el periodo de estudio 1989-1999 en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos. La causa es la construcción de la supercarretera 135 que une la capital de México con la capital del estado de Oaxaca. El municipio de Tepelmeme Villa de Morelos es muy abrupto y complejo fisiográficamente, por ello, fueron necesarios grandes movimientos de tierra, desmontes y talas para construir la supercarretera.

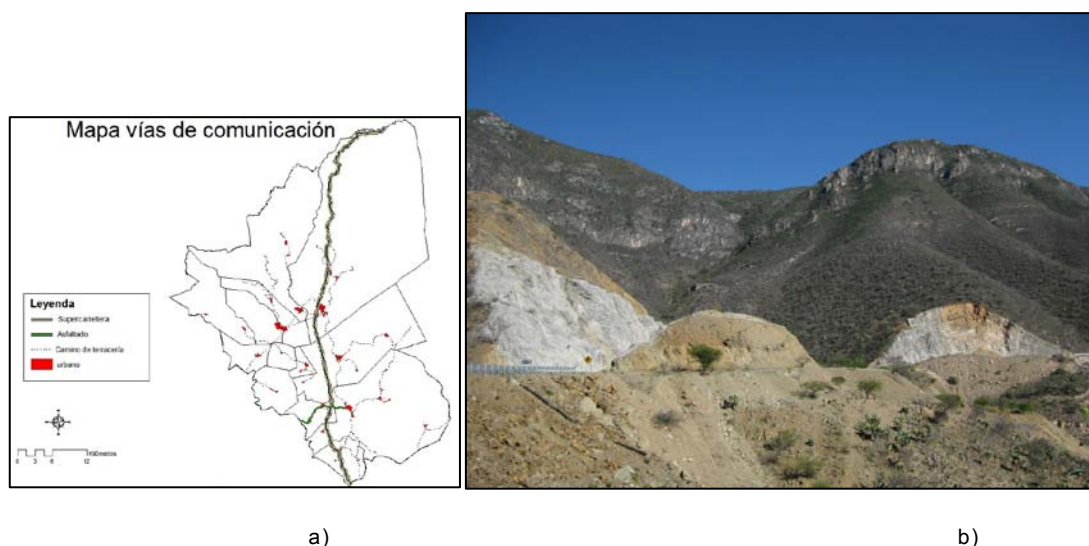


Fig.V.5 a) Mapa de comunicaciones de Coixtlahuaca (Fuente: UNAM, 2002) b) desmontes en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos para la construcción de la Supercarretera

La construcción de la supercarretera se da por todo el distrito ya que lo cruza de norte a sur (fig. V.3). Sin embargo, en la parte sur y central de Coixtlahuaca no se reflejan cambios debido a que cuando se construye la supercarretera el uso predominante es suelo desnudo.

En resultados se evalúa a su vez qué grupos de vegetación son los que son capaces de reforestar suelo desnudo. Los grupos de vegetación que resultan son Matorral espinoso y Chaparral. Las reforestaciones que se han llevado en Coixtlahuaca a lo largo de este último siglo no se clasificaron en los mapas. En los mapas de vegetación y usos que se presentan en este proyecto todos los píxeles son clasificados como una categoría. Así, observando cómo se clasifican las reforestaciones se aprecia que son fundamentalmente clasificadas como Chaparral y Matorral espinoso. Son precisamente por tanto las nuevas reforestaciones, planeadas en las zonas centrales de Coixtlahuaca de suelo desnudo, las que han hecho aumentar la superficie forestal a partir de terrenos con suelo desnudo. Aunque también estos tipos de vegetación pueden haber reforestado suelos desnudos en los periodos de tiempo de 10 ó 7 años, debido al carácter secundario de alguna de sus especies.

Anteriormente se comenta que ha aumentado la cubierta forestal en Coixtlahuaca en el periodo de estudio que se contempla. Sin embargo, hay una serie de municipios que rompen esta tendencia, tal y como se comenta en resultados, y hay más conversiones a terrenos agrícolas o pastizales. Dichos municipios son: Tepelmeme Villa de Morelos, Concepción Buenavista, San Miguel Tequixtepec y San Juan Bautista Coixtlahuaca; municipios bastante extensos y con numerosas comunidades y localidades. Estos municipios, según los datos del

INEGI, también presentan descenso de su población, pero sin embargo, son los que menos porcentaje de descenso presentan y los que más población poseen. Además, según investigadores del Instituto de Hidrología y los propios habitantes, la tendencia migratoria es en general más acusada en las cabeceras de municipio que en las pequeñas localidades y comunidades aisladas, al estar más en contacto con el mundo más tecnificado y menos pobre. Una teoría que explicase este hecho sería que la emigración se diese fundamentalmente en las cabeceras de municipio, y que en las comunidades aumentase, lo que provocaría el aumento de explotación de los recursos por parte de los habitantes de estas comunidades. Las roturaciones se dieron en épocas de grandes poblaciones en Coixtlahuaca, en estos momentos la población es menor que en esas épocas por lo que no es necesario ampliar la superficie agrícola para la población. La principal forma de explotación sería la extracción de leña y el sobrepastoreo de ganado caprino, ya que la población no puede haber aumentado tanto como para roturar más superficies forestales para cultivar, por lo que los terrenos forestales pasarían a ser pastizales. El balance resultante de población en este periodo 1999-2006 sería el ligero descenso que figura en los censos. En los censos disponibles del INEGI se presenta información de cómo varía la población a nivel de municipio, pero no a nivel de localidad, por lo que no se puede comprobar esta teoría.

En resultados se menciona que en la parte más septentrional de los municipios de Tepeleme Villa de Morelos existe una tendencia a desaparecer el Chaparral y sustituirse por Selva baja caducifolia en los mapas de vegetación y usos. Esto puede indicar mejoría de la Selva baja caducifolia a causa del descenso de la presión ganadera y de extracción de leña en esta zona debido a que algunas especies del Chaparral constituyen vegetación secundaria. Precisamente en estos municipios se comenta en el párrafo anterior que la población aumenta su presión sobre los recursos naturales. Con este cambio en la parte más septentrional de los municipios se refleja que los municipios nombrados en el párrafo anterior son muy extensos y diversos, con multitud de poblaciones aisladas entre sí, por lo que a veces es complicado extraer conclusiones generales para todo el municipio.

En cuanto a conversiones entre terrenos con suelo desnudo y terrenos agrícolas y pastizales, se observa en términos generales una mejora de la situación de Coixtlahuaca debido al descenso de terrenos con suelo desnudo en 70 km².

El aumento del suelo desnudo se debe fundamentalmente a las conversiones hacia terrenos agrícolas o pastizales. Esta tendencia puede ser debida al programa del estado

PROCAMPO, el cual tiene como ambicioso objetivo contribuir a la recuperación de bosques y la reducción de la erosión de los suelos, favoreciendo el desarrollo de una cultura de conservación de los recursos naturales. Este programa surgió ante la tendencia de abandono de cultivos agrícolas a causa de la emigración y consiste en un ingreso monetario a los habitantes agricultores, con el requisito de que dediquen sus terrenos a la siembra. Esto consecuentemente favorece la apertura y registro de tierras como terreno de cultivo. El descenso del número de cabezas de ganado también supone que aumenten en cierta medida los pastizales. Su paso y pisoteo continuo y diario por los mismos lugares supone un impedimento a la difícil regeneración de estos terrenos en los que se ha lavado gran parte del suelo.

Los cultivos agrícolas que se convierten en Coixtlahuaca a suelo desnudo son probablemente consecuencia del abandono por parte del agricultor de las tierras, bien a causa de la emigración o bien a causa de la pérdida de productividad debido a la pérdida de suelo por erosión hídrica; aunque la gran mayoría de las veces los dos aspectos van ligados. Un terreno cultivado disminuye las pérdidas de suelo de un terreno en pendiente por los cultivos que presenta y porque presenta además esta vegetación en paralelo a las curvas de nivel. Probablemente al abandonarlos se conviertan en suelo desnudo aquellos terrenos agrícolas en altas pendientes y a superficie forestal aquellos más llanos, aspecto comentado al principio del apartado. En cambio, en los pastizales, su conversión a suelo desnudo es seguramente consecuencia directa de la erosión y del material fácilmente disgregable que constituye la roca madre (fig.V.5). El aumento de conversiones de terrenos cultivados o pastizales a terrenos con suelo desnudo en la parte central de Coixtlahuaca, es debido a las razones expuestas de avance prácticamente implacable de las cárcavas en este distrito.



a)

b)

Fig. V.6 a) Avance de cárcavas (Santa María Nativitas) b) Pastizal que se va convirtiendo paulatinamente en suelo desnudo por erosión hídrica (San Juan Bautista Coixtlahuaca)

Los resultados de la evaluación de pérdida de suelo por erosión hídrica se han realizado de manera aproximada con el material disponible para analizar cómo varían las pérdidas de suelo con los cambios de uso de suelo. Los resultados son claros, disminuye la erosión en Coixtlahuaca. Esta disminución se da principalmente en el tipo clasificado por FAO y PNUMA (1989) como erosión moderada y erosión alta, siendo más suave en la erosión clasificada como muy alta. De esto extrae que en las cárcavas y aquellos lugares donde la erosión es muy intensa, no se cambia apenas la tendencia erosiva.

En vista de los resultados obtenidos se puede concluir que la situación en Coixtlahuaca mejora debido a que aumenta la superficie forestal, que disminuyen los terrenos con suelo desnudo y los niveles de erosión.

Evaluación del material disponible

Es importante mencionar en este apartado el material que se ha dispuesto para realizar este proyecto. En la realización de un estudio como el presente acerca de la evolución de los usos de suelo, la calidad de los resultados es proporcional a la información disponible. La cartografía de apoyo ha sido prácticamente nula debido a que los mapas existentes sobre este distrito sobre vegetación y usos del suelo, la temática que se aborda, están hechos a mayor escala y son claramente erróneos en numerosas zonas. El presente proyecto se trata de un

proyecto de cooperación al desarrollo, y precisamente por esta razón, Coixtlahuaca se caracteriza por no presentar grandes investigaciones y proyectos sobre ella que hubiesen proporcionado valiosa información a este proyecto. En este sentido es importante destacar la capacidad para trabajar con el material disponible.

A su vez, las condiciones de trabajo en un país como México no son las mismas que en España, y no se pueden realizar las rutas de reconocimiento del paisaje y toma de datos necesarias para este proyecto sin tener en cuenta que esas tierras pertenecen a una comunidad. Y así, en cada salida a Coixtlahuaca, es necesario pedir permiso al comisariado de bienes comunales para acceder a sus terrenos para evaluar el paisaje y poder caminar sin tener futuros problemas. Esto supone una demora de tiempo añadida a un ya complicado distrito por su orografía y su mala red de comunicaciones. En la mayoría de los casos los representantes de la población acceden sin problemas y acompañan muy gratificados a los investigadores o estudiantes para ayudar con su valioso conocimiento del terreno. A su vez, las salidas han de ser acompañadas de personal contratado de la universidad, por más seguridad de los investigadores y estudiantes. Y así, la Universidad Tecnológica de la Mixteca ha dispuesto todos sus medios para que los cuatro proyectos de la UPM puedan realizarse efectuando todas las salidas al distrito que pudieron ofrecer.

La extensión de Coixtlahuaca es un factor a señalar. Sus 168.840,05 hectáreas suponen sin duda una adversidad para el perfecto conocimiento del paisaje de esta región. Además, a causa de la complicada orografía se han conformado multitud de paisajes y muy diferentes formas de vida de la población.

A pesar de estas adversidades se ha contado con otras ventajas que se describen a continuación. Entre ellas se encuentra el incalculable apoyo que supone el conocimiento acerca de Coixtlahuaca del personal del Instituto de Hidrología. La región de Coixtlahuaca forma parte de su trabajo diario en la universidad, lo que consecuentemente lleva a que conozcan de primera mano su vegetación y los aprovechamientos y prácticas de la población. Este personal se encuentra siempre disponible en el día a día en la universidad y además acompaña en las salidas del distrito.

La complementariedad entre los cuatro proyectos incluidos en el programa de lucha contra la desertificación es un aspecto que también es necesario mencionar. A lo largo del presente proyecto se ha usado material de los otros tres proyectos como la localización de las reforestaciones y de las obras de conservación de suelos, y el mapa de suelos actualizado. Sin

esta información proporcionada los resultados hubiesen sido peores o se tendrían que demorar en el tiempo debido a que habría que sintetizar determinada información. A modo de ejemplo, el mapa de suelos anterior al generado por M^a Jesús Serra es similar en cuanto a calidad al que se dispone de vegetación y usos mencionado anteriormente. El preciso y actual mapa de suelos elaborado se utiliza en el modelo RUSLE del presente proyecto.

2. ORIENTACIÓN DE FUTUROS PROYECTOS Y RECOMENDACIONES

Los resultados del presente proyecto pueden ser mejorados realizando muestreos de campo que mejoren la calidad de los mapas y la verificación de los mismos. Y así, con un muestreo suficiente se puede evaluar la clasificación de las categorías representadas. En aquellas categorías que muestren peores resultados de evaluación se puede mejorar su distribución aumentando sus áreas de control con más trabajo de campo.

Como se menciona en los párrafos anteriores, la tendencia de Coixtlahuaca a causa de la emigración es la conversión de sus terrenos agrícolas y pastizales que no presenten riesgo alto de erosión a terrenos forestales. Esto se da en ausencia de ganado que ramonee la vegetación emergente. Al descender la población y aumentar la edad media de los habitantes, también descende el ganado, especialmente el caprino que es más dañino para la vegetación leñosa. Por esta tendencia, se hace conveniente prevenir de un nuevo riesgo en el distrito: los incendios forestales. Este riesgo surge ante el aumento de grupos de vegetación arbustivos como Matorral espinoso y Chaparral, y ante las condiciones de sequía y calor que imperan en gran parte del año en Coixtlahuaca. Los medios existentes para sofocar un incendio en estas regiones de México son básicamente una hoja de palma en la mano, un machete y el tesón de la población; medios muchas veces insuficientes.

En cuanto a las profundas cárcavas y a las extensiones de caliche se hace conveniente hacer un llamamiento al estado para continuar y mejorar la labor de reforestación con las especies que mejor han resultado, varias especies de pino. En un futuro podría constituir un aprovechamiento forestal importante. La información más detallada sobre las especies reforestadas y su éxito en Coixtlahuaca se encuentra en el proyecto Fin de carrera de María del Riego, varias veces citado e incluido en el Programa contra la desertificación que también incluye al presente proyecto.

En otras zonas sin cubierta vegetal pero con más suelo en su horizonte se pueden a su vez reforestar otras especies de aprovechamiento para la población como nopales (*Opuntia*

sp.) o magueyes (*Agave* sp.). Estas dos especies nombradas se ha visto que crecen en muy duras condiciones en terrenos desnudos y además son de aprovechamiento directo para la población. De los nopales de comen sus hojas, sus frutos y se practicaba el cultivo de la grana cochinilla, a día de hoy para rescatar esta tradición se está volviendo a cultivar en algunas zonas de Oaxaca. De los magueyes se extrae el famoso tequila, el pulque (una bebida fermentada muy consumida) y fibras para construcción de artesanías.

Las obras de conservación de suelo deben continuar practicándose por la población mediante su valioso trabajo comunitario, el tequio. Con ellas se frena la pérdida de productividad de sus ya poco productivos terrenos agrícolas. Se debe orientar el trabajo hacia aquellas obras que según los estudios realizados en este programa hayan resultado ser más eficaces en el mantenimiento de la fertilidad, lucha contra la pérdida de suelo e infiltración de agua. La información más profundizada sobre las obras de conservación de suelo efectuadas en Coixtlahuaca y bases para actuaciones futuras se encuentra en el proyecto de Carlos Jiménez, proyecto citado anteriormente que se encuentra en el mismo programa que el presente contra la desertificación.

Dada la situación de Coixtlahuaca, una gran cantidad de medidas son necesarias para cambiar esta situación. Entre ellas hay que indicar las medidas contra la perjudicial emigración masiva que se está dando en todo México, tanto a los Estados Unidos como a las grandes ciudades. A su vez, es necesario continuar y aumentar la labor de diversas organizaciones con sus programas para la población que habita en Coixtlahuaca de concienciación ambiental e instauración de trabajos de asentamiento de la población y mejora de sus niveles de vida.

VI. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha evaluado, mediante el uso de imágenes de satélite, cómo han variado los usos de suelo en Coixtlahuaca, un distrito al noroeste de Oaxaca de 168.840,05 hectáreas. Además de la evaluación temporal de los usos se proporciona en este proyecto un mapa de vegetación y usos del suelo a las autoridades del distrito, sobre el que se analizará la distribución de cada uno de sus usos y grupos de vegetación en Coixtlahuaca.

En vista de los resultados obtenidos en este proyecto y su posterior discusión, se exponen a continuación las siguientes conclusiones:

1. Coixtlahuaca se puede dividir a grandes rasgos en dos zonas claramente marcadas: la parte central caracterizada por la ausencia casi total de vegetación y la parte exterior, cubierta mayoritariamente por una superficie forestal en aceptables condiciones. La diferencia entre ellas radica en que la parte central es la parte baja de los valles y sus recursos han sido muy explotados por la elevada población que en Coixtlahuaca llegó a habitar.
2. En cuanto a las conclusiones del análisis temporal en Coixtlahuaca desde 1989, se observa en líneas generales una tendencia al abandono de tierras agrícolas a causa de la pérdida de productividad y la emigración. Consecuentemente comienza a instaurarse en ellas una vegetación emergente, fundamentalmente de especies del Matorral espinoso y Chaparral. A su vez a causa de la emigración, los Bosques de *Quercus* spp. han aumentado su extensión por la disminución de la extracción de leña, especialmente en la parte occidental del distrito. Concretamente la superficie forestal de Coixtlahuaca aumenta en 17 años 100 km², un casi un 6% de la superficie de Coixtlahuaca.
3. Los terrenos en los que no crece ninguna vegetación, denominados en los mapas de vegetación y usos como Suelo desnudo, ven disminuida su extensión de manera continua en los 17 años de estudio en 70km², equivalente a un 4,15% de la superficie de Coixtlahuaca.
4. Según el análisis mediante el modelo RUSLE, la estimación de pérdidas de suelo por erosión muestra un claro descenso, aun así, los niveles son alarmantes. De este estudio se extrae que la mejora en cuanto a erosión no proviene de aquellos puntos

altamente susceptibles a la erosión, véase cárcavas o terrenos de puro “caliche”, sino principalmente de puntos clasificados como con “erosión moderada”.

5. En vista del aumento de la superficie forestal y el descenso de terrenos clasificados como Suelo desnudo, se puede concluir que hay una ligera mejora en la situación de Coixtlahuaca en estos 17 años de estudio.
6. En ningún caso se puede afirmar que la mejora concluida en el párrafo anterior sea aceptable: los niveles de erosión son aún muy elevados, especialmente en la zona central, y se continúa con una extensión carente total de vegetación de 180 km², casi el 11% de la superficie total de Coixtlahuaca.

REFERENCIAS

- ALONSO I.; HERRERO E., 2001, "Clasificación de cubiertas con IDRISI", Universidad de Valladolid.
- ALTIERI, M.; FONSECA, S. A.; CABALLERO, J. J.; HERNÁNDEZ, J. J., 2006, Manejo del Agua y Restauración Productiva en la Región Indígena Mixteca de Puebla y Oaxaca, CEDEC México, México, 104 p.
- ANTEZANA C., 2001, "Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado RUSLE en sistemas de producción agrícola de la cuenca Taquiña (Bolivia)", Tesis maestría profesional en levantamientos de recursos hídricos (Manejo y Conservación de Cuencas), Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba. Bolivia.
- BAUTISTA F., 2004, Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales, Instituto Nacional de Estadística, Distrito Federal, Edo. De México, México, 507 pp.
- BERUMEN M.E., 2004, Región Mixteca: Aspectos Socio Económicos y propuestas de acción para su Crecimiento y Desarrollo, eumed, Huajuapán de León, Oaxaca, México, 62 pp.
- CHUVIECO, E., 1998, El factor temporal en teledetección: evolución fenológica y análisis de cambios. Revista Española de Teledetección, No. 10: pp. 39-48
- CHUVIECO, E., 2002, Teledetección ambiental; (3ª Edición), Ariel Ciencia, Barcelona.
- Comisión del Papaloapan- Secretaría de Recursos Hidráulicos, (1972), "1947-72. 25 años de labores", México.
- COOK S. & BORAH W., 1968, "Population of Mixteca alta 1520-1960", University of California, Berkeley
- COLOTTI E., 1999, "La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida". Terra Nueva Etapa, Universidad Central de Venezuela, Vol. XV, No. 24, pp.99-116.
- CORTES T., 1991, Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, México. 168 p.
- CORTÉS R., 2008, Evaluación del uso tradicional del bosque templado (Quercus) en el municipio de San Juan Bautista Coixtlahuaca, Oaxaca, Tesis de Ingeniero en recursos naturales renovables de la Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México
- DÍAZ A., 2009, "Influencia de la falla de basamento no expuesta en la deformación Cenozoica: la falla de Caltepec en la región de Tamazulapam, en el sur de México", Universidad Tecnológica de la Mixteca, México.

- EASTMAN J.R., 2006, IDRISI Andes: Guide to GIS and Image Processing", Clark Labs, Worcester (MA), EEUU.
- FAO y PNUMA, 1980, Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Roma.
- FIGUEROA B., AMANTE A., CORTES H.G., PIMENTEL J.; OSUNA E.S.; RODRÍGUEZ J.M.; MORALES F.J., 1999, Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México, D.F., 150 p.
- FRANCO F. J., SÁNCHEZ M.; VILLAREAL A.; RODRÍGUEZ J.C.; MENDOZA D.; AGUIRRE G.; SERRANO D., (2008), "Identificación botánica y tipo de hábitat de la vegetación arbórea y arbustiva consumida por cabras en pastoreo trashumante en la región Mixteca, México", XXIII Jornadas científicas y XII Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia
- HERNÁNDEZ O., 2001, "La grana cochinilla", Mexico desconocido, nº292, México D.F. México.
- Instituto estatal de protección civil de Oaxaca, 2008, Plan de Contingencias para fenómenos Geológicos. México.
- JIMÉNEZ C., 2010, Evaluación de obras de conservación de suelos en el distrito de Coixtlahuaca (Oaxaca, México) y bases para actuaciones futuras, Proyecto Fin de Carrera en elaboración. Escuela Técnica de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (1998), "Perfiles de suelo, un recorrido por los suelos de México"
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, <www.inegi.org.mx>
- INZUNZA J. C., 2005, "Clasificación de los climas de Köppen", Ciencia...Ahora, No. 15. Chile.
- LEYVA J.C., 2009, "Estudio Regional Forestal de la Unidad de Manejo Forestal de la Mixteca Norte 2010-2030", Gobierno del estado; SEMARNAT; CONAFOR; Colegio de Profesionales forestales de Oaxaca A. C.; Profesionales del Servicio de técnicos forestales de Oaxaca A.C
- LÓPEZ M.; NAVAS A.; MACHÍN J., 2008. "Identifying erosive periods by using RUSLE factors in mountain fields of the Central Spanish Pyrenees". Hydrology and Earth System Sciences, No.12: pp. 523-535
- MENDOZA, G., (2002), "El ganado comunal en la Mixteca Alta: de la época colonial al siglo XX. El caso de Tepelmeme", Historia Mexicana, Vol. LI, No. 004, pp. 749-785.
- MITASOVA H., MITAS L., BROWN W.M., JOHNSTON D. (1997). GIS Tools for Erosion/Deposition Modelling and Multidimensional Visualization. Part IV: Process

- Based Erosion Simulation Geographic Modelling and Systems Laboratory. University of Illinois. Estados Unidos. 20 pp.
- MANNAERTS C. M.; BIEKKRÜGER B.; RENSCHLER C.S.B, 1999, Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk - rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain, *Catena*, No. 34, pp. 209-225
- Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, (2007), Tarjeta distrital de información estadística básica. Distrito 03 Coixtlahuaca, Consulta: Abril 2010, <www.oeidrus-portal.gob.mx>
- OTERO I., 2005, Paisaje, Teledetección y SIG. Conceptos y aplicaciones, Fundación Conde del Valle Salazar, Madrid. 436 p.
- PONCE P.; FLORES C.; RAMÍREZ P.; 1997, Programa de desarrollo regional sustentable de las Mixtecas Poblana y Oaxaqueña. Documento de trabajo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agricultura y la Agroindustria Mundial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México.
- RIEGO M. N., 2010, Efecto sobre las propiedades del suelo de las reforestaciones realizadas en el distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca, México, Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- ROSETE F. A.; PÉREZ J.C.; BOCCO G., (2008), "Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, No. 67, pp. 39-58. México.
- RZDOWSKI J., (2006), *Vegetación de México*, 1ra Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- SANDERS T., 1975, "Migration from Mixteca Alta", *North America Series*, Vol. III, No. 5, México.
- SANTIBAÑEZ P. & ZÚÑIGA O., 2006, Evaluación y predicción de la productividad agrícola debido a la pérdida de suelo 'Aplicación comuna de Pichilemu, Sexta Región (Chile), Proyecto Fin de Carrera, Escuela de Ingeniería Civil en Geografía, Universidad de Santiago de Chile. Chile.
- SALOMÓN R., (2009), Estudio de la evolución del uso del suelo en la zona de reserva del Merendón, Honduras. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- SERRA M.J., 2010, Planificación rural sostenible en el distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca, México, Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Servicio Internacional para la Paz, Oaxaca en datos, 2010, Consulta: Mayo 2010 www.sipaz.org

- TÉLLEZ O.; REYES M.; DÁVILA P.; GUITIERREZ K.; TÉLLEZ O.; ÁLVAREZ R. X.; ROSAS I.; AYALA M.; MURGUÍA M.; GUZMÁN M.; 2008; "Guía Ecoturística: Plantas del Valle de Tehuacán – Cuicatlán"; Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, Edo. De México, 51pp.
- WISCHMEIER, W. & SMITH D., 1978, "Predicting rainfall erosion losses: a Guide to Conservation Planning", U. S. Dept. Agriculture Handbook, Vol. 537, Washington, D.C., 58 pp. Estados Unidos.
- SERRA M. J., 2010, Proyecto Fin de Carrera "Planificación rural sostenible de Coixtlahuaca, Oaxaca".

ANEXO I: Programa de prevención y control de la desertificación y abastecimiento de agua a comunidades de la región Mixteca



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
INSTITUTO DE HIDROLOGIA

PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA DESERTIFICACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE AGUA A COMUNIDADES DE LA REGIÓN MIXTECA.

La degradación de tierras engloba diversos procesos que afectan la integridad de los ecosistemas terrestres, comprometiendo sus funciones como hábitat para la biodiversidad, a la recarga de acuíferos, a obras de infraestructura hidráulica, a la calidad del aire y a la vulnerabilidad ante fenómenos climáticos como inundaciones o sequías.

La región Mixteca Oaxaqueña es una de las regiones de México más fuertemente afectada por la degradación de sus recursos naturales, debido a condiciones climáticas, topográficas y al mal manejo de dichos recursos. Esta situación es más evidente en los municipios pertenecientes al distrito de San Juan Bautista Coixtlahuaca, donde se encuentra el territorio más degradado de dicha región y posiblemente de México. El estado actual de degradación es resultado de la interacción compleja entre las condiciones sociales y la necesidad de obtener satisfactores mediante el aprovechamiento de los recursos naturales, como es el caso de la elaboración manual de sombreros de palma, extracción de madera y leña, y sobrepastoreo con ganado caprino, ante la falta de otras fuentes de ingreso. Lo anterior ha ocasionado que la vegetación de la región se encuentre muy degradada, a tal grado que el suelo está prácticamente desprovisto de vegetación.

En México se han realizado diversos programas de manejo de cuencas en áreas piloto con el objetivo de reducir la erosión del suelo, mediante la aplicación de diversas prácticas conservacionistas como terrazas, tinas ciegas, reforestación, construcción de presas de mampostería o gaviones, bordos a nivel, etc.. Ejemplos representativos son la cuenca del río Texcoco, cuenca del lago de Patzcuaro, cuenca de las lagunas de Cuitzeo, Tuxpan y Yuriria, cuenca del río Colorado y la cuenca de la Presa Valsequillo, entre otras.

Estos programas se caracterizaron por ser acciones de programas de gobierno específicos para resolver problemas de carácter local, en los que no existió un esquema de planeación del uso de los recursos naturales en el ámbito de cuenca y los productores participaron como empleados del programa sin llegar a establecer programas reales de manejo de los recursos de cualquier cuenca hidrográfica.

A nivel región mixteca, el programa de conservación y rehabilitación de recursos naturales más completo es el implementado por la "comisión del Papaloapan", la cual se creó debido a que las partes bajas de la cuenca del río Papaloapan, sufrían constantes inundaciones debido a la deforestación en las partes altas (región mixteca). Esta comisión fue responsable de planear y



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA

ejecutar los programas para el desarrollo integral de la cuenca, para lo cual realizó obras de retención de sedimentos en los ríos, presas de almacenamiento para la regulación de avenidas, establecimiento de huertos frutales, de sistemas hidrométricos de aforo, instalación de estaciones meteorológicas y se efectuaron trabajos de conservación de suelo y agua en la parte alta de la cuenca. Localmente, otras instituciones han realizado acciones y estudios regionales bajo el enfoque de manejo integral de cuencas.

Las prácticas de conservación de suelo y agua proporcionan la posibilidad de controlar y conservar el suelo y a retener la mayor parte del agua de lluvia. Sin embargo, los suelos de la región mixteca están muy degradados, se reforestó con especies vegetales no nativas y los habitantes de esta región participaron como empleados de dichos programas de rehabilitación, por lo cual se invirtieron millones de pesos en acciones que tuvieron poco efecto en la prevención o control de la degradación de los recursos naturales, evidenciando en poca superficie reforestada sobreviviente.

El enfoque holístico empleado por la Universidad Tecnológica de la Mixteca, considera que existen un conjunto de prácticas de conservación y rehabilitación de recursos naturales y el empleo de especies nativas para reforestar. En diversas comunidades de la región se han evaluado con éxito especies nativas con alto potencial para reforestar, en las condiciones de suelo, topografía y clima, lo cual contribuirá a aumentar la infiltración del agua de lluvia recargando acuíferos para abastecer de agua potable a las comunidades asentadas en la región.

El distrito de Coixtlahuaca tiene 11 municipios con grado de marginación alto y 2 con marginación media. La población en la mayoría de municipios y comunidades es inferior a 1000 personas y se abastecen de agua potable en manantiales que anualmente disminuyen su caudal. El crecimiento poblacional está demandando más agua, lo cual se está convirtiendo en un problema ante la disminución del caudal de manantiales y mayor profundidad del manto freático.

La implementación del programa de prevención y control de la desertificación en la región mixteca, surge como inquietud de diversas comunidades por restaurar el paisaje mediante la reforestación. Los municipios de San Juan Bautista Coixtlahuaca, Santa María Nativitas, San Miguel Tequixtepec, Santiago Ihuatlán Plumas, Tlacotepec Plumas, San Cristóbal Suchixtlahuaca, San Francisco Teopán, Tepelmeme, principalmente, han participado en programas de reforestación y continúan con el interés por contribuir a la rehabilitación de las cuencas de la región.

Son las comunidades quienes promueven y participan activamente en la reforestación y como ejemplo en San Cristóbal Suchixtlahuaca se ha reforestado en 2007, 2008 y 2009. En 2009 se reforestó con 40 mil plantas de *pinus oaxacana* y es en esta comunidad donde se piensa establecer, en coordinación con el gobierno de México, un centro demostrativo de prevención y control de la certificación. Asimismo, en las reforestaciones se ha involucrado como factor de concientización a los niños de las escuelas de la región.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA

Para el éxito del programa de prevención y control de la desertificación, es necesario realizar un conjunto de proyectos que consideren:

- Evaluar la eficiencia de las obras de conservación de suelo y agua realizadas en la región por diversas instituciones.
- Evaluar el efecto de la reforestación con diversas especies y de diferente época en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Realizar el estudio agrológico de tierras para identificar el uso potencial del suelo y planificar las actividades de rehabilitación.
- Realizar el análisis espacial y temporal del uso del suelo en Coixtlahuaca, empleando sistemas de información geográfica.
- Establecer el centro demostrativo de lucha contra la desertificación, el cual considera como aspecto fundamental realizar investigación sobre el efecto de diversas obras de conservación de suelo y agua, en la disminución del escurrimiento superficial y erosión del suelo para lo cual se establecerán lotes de escurrimiento. Sobre la recarga de acuíferos mediante el aforo continuo de manantiales. Sobre la biodiversidad en el área reforestada y algunas propuestas nuevas durante el desarrollo del proyecto.

Estas son algunas acciones inmediatas a desarrollar y los resultados se utilizarán, en general, para planificar las actividades de rehabilitación a realizar en terrenos degradados para disminuir la desertificación.

Para ello se cuenta con cuatro alumnos de la **E.T.S.I. de Montes** de la **Universidad Politécnica de Madrid** que realizarán en el Instituto de Hidrología de la Universidad de la Mixteca (Oaxaca, México), los siguientes proyectos, relacionados con los puntos anteriormente expuestos como objetivos del **PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA DESERTIFICACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE AGUA A COMUNIDADES DE LA REGIÓN MIXTECA**:

- *“Metodología para la planificación de las obras de conservación de suelos en el Distrito de Coixtlahuaca a partir de la evaluación de las preexistentes”*, por Carlos Jiménez Barrios.
- *“Evaluación de los efectos de las reforestaciones a partir de parámetros físico-químicos del suelo y criterios socioeconómicos para la planificación de actuaciones futuras en el Distrito de Coixtlahuaca”*, por María del Riego Ceña.
- *“Análisis espacial y temporal del uso del suelo en el Distrito de Coixtlahuaca”*, por Elena Herrero Rodríguez.
- *“Planificación rural sostenible en el Distrito de Coixtlahuaca”*, por M^a Jesús Serra Varela.

La continuidad de este proyecto se asegura mediante posible apoyo de la Comisión Nacional Forestal de México por un mínimo de cinco años y en convenios de colaboración que se tiene con algunos municipios del área de estudio con vigencia de 10 y 20 años. En estos convenios se



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA

considera realizar diferentes actividades como: identificar el uso óptimo del suelo, realizar reforestaciones con especies vegetales nativas en lugares prioritarios, identificar los sitios adecuados para la captación y aprovechamiento de agua de lluvia, y en general en realizar, todas aquellas acciones que contribuyen al manejo integral de cuencas.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano la atención prestada al presente; aprovecho la ocasión para enviarle cordiales saludos.

ATENTAMENTE
Labor et Sapientia, Libertas
H. Cd. de Huajuapán de León, Oax.
14 de octubre de 2009

Dr. Fidencio Sustaita Rivera
Profesor Investigador
Instituto de Hidrología



ANEXO II: Programa contra la desertificación que aparece en Planet Action

<http://www.planet-action.org/web/85-project-detail.php?projectID=5132>

PREVENTION AND CONTROL OF DESERTIFICATION IN THE MIXTECA REGION, OAXACA, MEXICO

The desertification is a very complex phenomenon that is related to the deterioration of ecosystems, is associated with the loss of biodiversity and with the loss of the soil productivity, contributes to global climate change with the loss of capacity of carbon sequestration and increase in the evapotranspiration and in the surface albedo. The Mixteca region is one of the locations of Mexico more strongly affected by the degradation of its natural resources, due to climatic conditions, topographical conditions and bad management of these resources. This situation is most evident in the municipalities belonging to the district of San Juan Bautista Coixtlahuaca that is the territory more degraded in this region and possibly of Mexico.

The current state of degradation is the result of the complex interaction between the social conditions and the need to obtain benefits through the exploitation of natural resources, as is the case of the handcrafts of palm hats, extraction of timber and wood, and overgrazing with goats, in the absence of other sources of income. This has led to the vegetation in the region is badly degraded, to the extent that the soil is virtually devoid of vegetation. The implementation of the program of prevention and control of desertification in the mixteca region, emerge as concern of various communities to restore the landscape through the implementation of conservation practices of the soil and water. The restoration objective is to return the ecosystems to a previous state with all its functions and services, basically with the reduction, absorption, and carbon storage to decrease the greenhouse effect. The project seeks to the Mixteca region as a demonstrative area of prevention and control of the land degradation, drought and desertification, through the implementation of various techniques for the sustainable management of soils, biotic resources and water resources. It is essential that the planning of natural resources is set to management principles to ensure the integrity of ecosystems.

Link With Climate Change

The deforestation release the carbon stored in trees and has implications in climate change. It is estimated that deforestation represents about 20 per cent of the global emissions of greenhouse gases. Where forests are preserved act as "sinks" of carbon (net transfer of CO₂ of the air to vegetation and soil where is stored).

The vegetation is essential for the conservation of the soil, the regulation of the infiltration of rainfall. Through the photosynthesis, the vegetation absorbs CO₂ from air to fix it in the form of biomass (trunk, branches, bark, leaves and roots) and on the soil (through its organic contribution) and release oxygen to the atmosphere.

Forests provide other services such as: pools of water, the regime of rainfall increase, recycling of nutrients, biodiversity for tourist and scientific purposes, stabilize soil and help control floods. The reforestation of degraded areas or the preservation of native forests, will promote the net accumulation of carbon in biomass and soil. The project aims to implement measures to help restore and recovery ecosystem services lost because of the desertification.

Objetives

- Use of geographic information system (GIS) to detect and quantify changes in land use from 1974 to 2009.
- Use of Geographic information systems (GIS) for identify and assess the efficiency of the soil and water conservation works existing
- Determine the main factors that caused the changes in the plant coverage and soil degradation and its impact in rainwater catchment
- Make the sustainable management of territory of Coixtlahuaca district for promote integrated management of natural resources, incorporating the ecological approach to ensuring the ecosystem integrity.
- Improve the agricultural and forestry practices, promoting conservation and protection of forests, involving local communities.

Works plan

The delimitation of the area of study and literature review will be realized by staff of the Hydrology Institute (Technological University of the Mixteca).

The dynamics of the land use -from 1974 to 2000- will be determined analyzing satellite imagery of low-resolution of the Northamerican Landscape Characterization project, through the ArcGis 9.2 e IDRISI32. With images of greater resolution will be characterize in detail the current use of the land.

The current state of desertification will be assessed with the participation of four students from the profession engineering of mountains of the Polytechnic University of Madrid (UPM). The students undertake the following basic projects: 1). the evaluation of the efficiency of soil and water conservation practices carried out in the region; (2). the spatial and temporal analysis of land use; 3). the evaluation of reforestation effect in the soil properties; 4). the planning of sustainable rural development from the area studied.

San Cristobal Suchixtlahuaca is representative of the high natural resources degradation in the region. This region will be considered as a demonstrative area of prevention and control of desertification. Here, the soil and water conservation practices will be realized with more intensity.

Schedule

January to March 2010: Revision of bibliographic information and mapping of the region. January to April 2010: Spatial and temporal analysis of the land use.

February to May 2010: Basic studies of the UPM students.

March to December 2010. Analysis of high-resolution images.

June to October 2010: Implementation of soil and water conservation practices.

2011: Generation of thematic mapping from the Mixteca region

2011 to 2016: Evaluation of indicators of the project.

Technical and Scientific Approach & Methods Proposed

The project is based on the use of Geographic Information Systems for the evaluation of desertification and for planning the potential use of the territory. ArcGis 9.2 e IDRISI Andes will be used to delimit the area of study and

evaluate the land use at different times. Using the routines of supervised classification on satellite images of 1974, 1986 and 2000, changes in land use of the area of study will be differentiated and identified.

The same analysis routines will apply to satellite images of 2009 or 2010, to identify the current land use and planning the evaluation of reforestation and other practices for the soil and water conservation carried out in the region in past years. Shall be made travels to assess the efficiency of the reforestation (species used, relationship soil species, and effect on physical and chemical properties of the soil) and the soil and water conservation works carried out (terraces, tubs blind, stone dams, ditches, among others).

The previous activity will be the groundwork for defining the practices for the conservation of soil and water to implement in the region studied, as well as the plant species to use for reforestation. These activities will be implemented with greater intensity in the area selected as demonstrative. In this area will undertake the monitoring of the springs flow and wells, to identify beneficial effects in the recharge of aquifers. Also possibly soil erosion evaluations will be conducted establishing lots of runoff. The treatments would be the control against selected practices of soil and water conservation.

Results

There will be several kinds of results:

- Four final reports and thesis from students of UPM
- Final report at Mixteca region communities. These reports will be reinforced by conferences and local workshop.
- Real land use map with selected areas for reforestation and rainwater catchment.
- Establishment of a demonstrative area for prevention and control of desertification.
- Thematic digital cartography of studied area.

Use of Satellite Imagery and GIS Solutions

To assess land use changes from 1974 to 2000, will be use satellite images of low-resolution of the project NorthAmerican Landscape Characterization. The association with the Planet Action program will employ high resolution remotely sensed data sets such as SPOT 5. These images have the capability to improve the estimation of the spatial distribution of vegetation density at finer scale, and land use types in the degraded landscape. Moreover, the images will be used for identify and study the areas where there have been actions for the conservation of soil and water and to identify scenarios of participatory planning of farmers in the region.

Local Actions

The advantages obtained will be diverse:

- Rehabilitation of degraded areas for sustainable fuel-wood production.
- Struggle and sensitize about climate change and deforestation (water availability decrease, soil erosion, land degradation, and biodiversity decrease, among others)
- Promote sustainable agricultural and forestry practices.
- The communities are who promote and actively participate in the reforestation. As an example San Cristobal Suchixtlahuaca has been reforested in 2007, 2008 and 2009. Also, in the reforestation has been involved as a factor of raising children in schools in the region.

Miscellaneous information / interesting details on project

The geographic information systems (GIS) are increasingly used in mountain areas, to generate basic information on the current state of the territory and manage the sustainable development at community level. The GIS allows better understanding of changes in soil and vegetation cover, and how communities are affected by these changes.

The project aims to implement measures against the desertification in the Mixteca region to help restore and recovery lost ecosystem services. The project focuses to restore the territory on a sustainable basis, using a set of practices of conservation and rehabilitation of natural resources and the use of native species to reforest. In various communities in the region have been assessed with success native species with high potential to reforest, which will contribute to increasing water infiltration of rain recharging aquifers to supply of drinking water to the communities.

The district of Coixtlahuaca is the area more degraded in the region Mixteca. It is imperative diagnose the current state of their natural resources and the actions of conservation of soil and water carried out since 1975. The study, will shift to the territory its potential use and planning activities to recover the productive potential of the ecosystem and its associated services.

A pilot area will select in order to implement the largest number of actions aimed at the conservation of soil and water. Moreover, this area will be demonstrative of fighting in the prevention and control of desertification, and will generate basic information of the relationship rain (infiltration and runoff) and soil erosion, and their effect in springs. In addition, it will function as demonstration area of combat desertification for all the Mixteca region and elsewhere in Mexico.

Partners involved in project

Phd SAUL MARTINEZ RAMÍREZ
TECHNOLOGICAL UNIVERSITY OF THE MIXTECA
HYDROLOGY INSTITUTE

GILBERTO BAUTISTA SANCHEZ
TECHNOLOGICAL UNIVERSITY OF THE MIXTECA
HYDROLOGY INSTITUTE
Comision Nacional Forestal (CONAFOR)

ANEXO III: Climas de Köppen

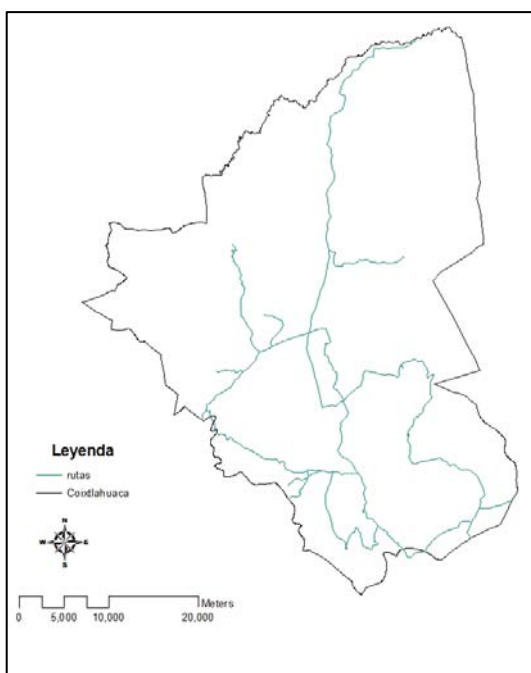
En el capítulo material y métodos se incluye un apartado sobre el clima de Coixtlahuaca; en él se describe de manera general para todo el distrito los climas existentes con un mapa. En este Anexo se detalla el significado de cada uno de ellos:

- BWh' (h) w: Muy árido y semicálido, temperatura del mes más frío sobre 18°C, régimen de lluvia en verano.
- BSoh'(h) w: Árido cálido, temperatura del mes más frío sobre 18°C, régimen de lluvias en verano.
- BSokw: Árido templado, régimen de lluvia en verano.
- BS1kw (w) (i') gw: semiárido templado, régimen de lluvias en verano, menos de 5% de precipitación invernal con respecto a la total anual, con poca oscilación térmica. Marcha de la temperatura tipo Ganges y canícula.
- BS1h'(h) w: Semiárido semicálido, temperatura del mes más frío sobre 18°C, régimen de lluvias en verano.
- Cb(wo)(w)(i')gw": Templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, régimen de lluvias en verano, menos de 5 % de precipitación invernal con respecto a la total anual, verano fresco largo, con poca oscilación térmica, marcha de la temperatura tipo Ganges y canícula.
- BS1kw: Semiárido, templado, temperatura media anual entre 120C y 180C, temperatura del mes más frío entre -30C y 180C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C
- BSoh'(h) w: Árido cálido, temperatura del mes más frío sobre 18°C, régimen de lluvias en verano.

ANEXO IV: Rutas por Coixtlahuaca

En la tabla siguiente se detalla en qué día se realizaron cada una de las salidas por el distrito de reconocimiento del paisaje y verificación de los resultados. A su vez en este anexo se presenta un mapa con el recorrido de las salidas realizadas.

Salidas de campo	Municipios visitados
26 de enero del 2010	San Juan Bautista Coixtlahuaca, Santa María Nativitas, San Cristóbal Suchixtlahuaca, San Miguel Tequixtepec y San Miguel Tulancingo.
25 y 26 de Febrero del 2010	San Cristóbal Suchixtlahuaca, San Miguel Tulancingo, San Miguel Tequixtepec, Concepción Buenavista y Santa Magdalena Jicotlán.
3, 4 y 5 de Marzo del 2010	San Juan Bautista Coixtlahuaca, San Cristóbal Suchixtlahuaca, Tepelmeme Villa de Morelos, San Miguel Tequixtepec, Santa Magdalena Jicotlán, Tlacotepec Plumas y Santiago Ihuitlán Plumas.
10, 11 y 12 de Marzo del 2010	San Juan Bautista Coixtlahuaca, Tlacotepec Plumas, Santiago Ihuitlán Plumas, Santa María Nativitas, San Cristóbal Suchixtlahuaca, San Miguel Tulancingo.
17, 18 y 19 de Marzo del 2010	Tepelmeme Villa de Morelos, San Miguel Tequixtepec, Concepción Buenavista, Tlacotepec Plumas, Santa Magdalena Jicotlán y Santiago Ihuitlán Plumas.



Rutas realizadas por el distrito de Coixtlahuaca

ANEXO V: Imágenes de satélite utilizadas

■ Imágenes de 1989

Path row 25 47

```

GROUP = METADATA_FILE
      PRODUCT_NAME = "GLS-1990 Ver1.0"
      PRODUCT_ELEVATION_DATA = "GLS-DEM

Ver1.0"
      ORTHO_PRODUCT_CREATION_TIME = 2008-10-
21T21:14:48Z
      SOURCE_PRODUCT_CREATION_TIME =
"BEFORE 2003"
      PRODUCT_FILE_SIZE = 349.2
      STATION_ID = "XXX"
      GROUND_STATION = "XXX"
      GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
            SPACECRAFT_ID = "Landsat4"
            SENSOR_ID = "TM"
            ACQUISITION_DATE = 1989-10-26
            WRS_PATH = 025
            WRS_ROW = 047
            SCENE_CENTER_LAT =
+18.7830612
            SCENE_CENTER_LON = -
97.5933258
            SCENE_UL_CORNER_LAT =
+19.7000083
            SCENE_UL_CORNER_LON = -
98.2679681
            SCENE_UR_CORNER_LAT =
+19.4493857
            SCENE_UR_CORNER_LON = -
96.5527946
            SCENE_LL_CORNER_LAT =
+18.1109428
            SCENE_LL_CORNER_LON = -
98.6261703
            SCENE_LR_CORNER_LAT =
+17.8635460
            SCENE_LR_CORNER_LON = -
96.9254958
            SCENE_UL_CORNER_MAPX =
576720.000
            SCENE_UL_CORNER_MAPY = 2178450.000
            SCENE_UR_CORNER_MAPX =
756930.000
            SCENE_UR_CORNER_MAPY =
2152380.000
            SCENE_LL_CORNER_MAPX =
539550.000
            SCENE_LL_CORNER_MAPY =
2002500.000
            SCENE_LR_CORNER_MAPX =
719820.000
            SCENE_LR_CORNER_MAPY =
1976310.000
            BAND1_FILE_NAME =
"p025r047_4dt19891026_z14_10.tif"
            BAND2_FILE_NAME =
"p025r047_4dt19891026_z14_20.tif"
            BAND3_FILE_NAME =
"p025r047_4dt19891026_z14_30.tif"
            BAND4_FILE_NAME =
"p025r047_4dt19891026_z14_40.tif"
            BAND5_FILE_NAME =
"p025r047_4dt19891026_z14_50.tif"
            BAND6_FILE_NAME =
"p025r047_4dt19891026_z14_60.tif"
            BAND7_FILE_NAME =
"p025r047_4dt19891026_z14_70.tif"
            GROUP =
PROJECTION_PARAMETERS
      REFERENCE_DATUM = "WGS84"
      REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"
      GRID_CELL_ORIGIN = "Center"

```

Path row 25 48

```

GROUP = METADATA_FILE
      PRODUCT_NAME = "GLS-1990 Ver1.0"
      PRODUCT_ELEVATION_DATA = "GLS-DEM

Ver1.0"
      ORTHO_PRODUCT_CREATION_TIME = 2008-10-
21T21:48:23Z
      SOURCE_PRODUCT_CREATION_TIME =
"BEFORE 2003"
      PRODUCT_FILE_SIZE = 349.6
      STATION_ID = "XXX"
      GROUND_STATION = "XXX"
      GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
            SPACECRAFT_ID = "Landsat4"
            SENSOR_ID = "TM"
            ACQUISITION_DATE = 1989-10-26
            WRS_PATH = 025
            WRS_ROW = 048
            SCENE_CENTER_LAT =
+17.3530554
            SCENE_CENTER_LON = -
97.9200885
            SCENE_UL_CORNER_LAT =
+18.2692212
            SCENE_UL_CORNER_LON = -
98.5906398
            SCENE_UR_CORNER_LAT =
+18.0208836
            SCENE_UR_CORNER_LON = -
96.8891023
            SCENE_LL_CORNER_LAT =
+16.6805746
            SCENE_LL_CORNER_LON = -
98.9439140
            SCENE_LR_CORNER_LAT =
+16.4338641
            SCENE_LR_CORNER_LON = -
97.2559031
            SCENE_UL_CORNER_MAPX =
543270.000
            SCENE_UL_CORNER_MAPY =
2020020.000
            SCENE_UR_CORNER_MAPX =
723480.000
            SCENE_UR_CORNER_MAPY =
1993770.000
            SCENE_LL_CORNER_MAPX =
505980.000
            SCENE_LL_CORNER_MAPY =
1844220.000
            SCENE_LR_CORNER_MAPX =
686220.000
            SCENE_LR_CORNER_MAPY =
1817730.000
            BAND1_FILE_NAME =
"p025r048_4dt19891026_z14_10.tif"
            BAND2_FILE_NAME =
"p025r048_4dt19891026_z14_20.tif"
            BAND3_FILE_NAME =
"p025r048_4dt19891026_z14_30.tif"
            BAND4_FILE_NAME =
"p025r048_4dt19891026_z14_40.tif"
            BAND5_FILE_NAME =
"p025r048_4dt19891026_z14_50.tif"
            BAND6_FILE_NAME =
"p025r048_4dt19891026_z14_60.tif"
            BAND7_FILE_NAME =
"p025r048_4dt19891026_z14_70.tif"
            GROUP =
PROJECTION_PARAMETERS
      REFERENCE_DATUM = "WGS84"
      REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"

```

Path row 25 47	Path tow 25 48
UL_GRID_LINE_NUMBER = 1	GRID_CELL_ORIGIN = "Center"
UL_GRID_SAMPLE_NUMBER = 1	UL_GRID_LINE_NUMBER = 1
GRID_INCREMENT_UNIT = "Meters"	UL_GRID_SAMPLE_NUMBER = 1
GRID_CELL_SIZE_THM = 30.000	GRID_INCREMENT_UNIT = "Meters"
GRID_CELL_SIZE_REF = 30.000	GRID_CELL_SIZE_THM = 30.000
FALSE_NORTHING	GRID_CELL_SIZE_REF = 30.000
= 0	FALSE_NORTHING
ORIENTATION =	ORIENTATION =
"NUP"	"NUP"
RESAMPLING_OPTION = "CC"	RESAMPLING_OPTION = "CC"
MAP_PROJECTION	MAP_PROJECTION
= "UTM"	END_GROUP =
PROJECTION_PARAMETERS	PROJECTION_PARAMETERS
GROUP = UTM_PARAMETERS	GROUP = UTM_PARAMETERS
ZONE_NUMBER =	ZONE_NUMBER =
14	END_GROUP =
UTM_PARAMETERS	UTM_PARAMETERS
SUN_AZIMUTH = 138.530000	SUN_AZIMUTH = 137.110000
SUN_ELEVATION = 49.920000	SUN_ELEVATION = 50.830000
QA_PERCENT_MISSING_DATA = -	QA_PERCENT_MISSING_DATA = -
1	CLOUD_COVER = -1
CLOUD_COVER = -1	PRODUCT_SAMPLES_REF = 7352
PRODUCT_SAMPLES_REF = 7352	PRODUCT_LINES_REF = 6964
PRODUCT_LINES_REF = 6964	PRODUCT_SAMPLES_THM = 7352
PRODUCT_LINES_THM = 6964	PRODUCT_LINES_THM = 6964
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"	OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
END_GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA	END_GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA	GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA
BAND_COMBINATION = "1234567"	BAND_COMBINATION = "1234567"
RADIANCE_UNITS =	RADIANCE_UNITS =
"W/m^2/srad/um"	"W/m^2/srad/um"
GROUP = BAND_GAIN	GROUP = BAND_GAIN
GAIN_BAND1 =	GAIN_BAND1 =
0.6024314	GAIN_BAND2 =
1.1750981	GAIN_BAND3 =
0.8057647	GAIN_BAND4 =
0.8145490	GAIN_BAND5 =
0.1080784	GAIN_BAND6 =
0.0551582	GAIN_BAND7 =
0.0569804	END_GROUP = BAND_GAIN
END_GROUP = BAND_GAIN	GROUP = BAND_BIAS
GROUP = BAND_BIAS	BIAS_BAND1 = -
BIAS_BAND1 = -	BIAS_BAND2 = -
1.5200000	BIAS_BAND3 = -
2.8399999	BIAS_BAND4 = -
1.1700000	BIAS_BAND5 = -
1.5100000	BIAS_BAND6 =
0.3700000	BIAS_BAND7 = -
1.2377996	END_GROUP = BAND_BIAS
0.1500000	GROUP =
CORRECTIONS_APPLIED	CORRECTIONS_APPLIED
STRIPING_BAND1 =	STRIPING_BAND1 =
"NONE"	STRIPING_BAND2 =
"NONE"	STRIPING_BAND3 =

Path row 25 47

```

"NONE"
STRIPING_BAND4 =
"NONE"
STRIPING_BAND5 =
"NONE"
STRIPING_BAND6 =
"NONE"
STRIPING_BAND7 =
"NONE"
BANDING = "N"
COHERENT_NOISE
= "N"
MEMORY_EFFECT
= "N"

SCAN_CORRELATED_SHIFT = "N"

INOPERABLE_DETECTORS = "N"
DROPPED_LINES =

"N"
END_GROUP =
CORRECTIONS_APPLIED
END_GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA
END_GROUP = METADATA_FILE
END

```

Path row 25 48

```

"NONE"
STRIPING_BAND3 =
"NONE"
STRIPING_BAND4 =
"NONE"
STRIPING_BAND5 =
"NONE"
STRIPING_BAND6 =
"NONE"
STRIPING_BAND7 =
"NONE"
BANDING = "N"
COHERENT_NOISE
= "N"
MEMORY_EFFECT
= "N"

SCAN_CORRELATED_SHIFT = "N"

INOPERABLE_DETECTORS = "N"
DROPPED_LINES =

"N"
END_GROUP =
CORRECTIONS_APPLIED
END_GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA
END_GROUP = METADATA_FILE

```

END

- Imágenes de 1999

Path row 25 47

```

GROUP = METADATA_FILE
PRODUCT_CREATION_TIME = 2004-02-12T16:16:41Z
PRODUCT_FILE_SIZE = 660.4
STATION_ID = "EDC"
GROUND_STATION = "EDC"
GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
SPACECRAFT_ID = "Landsat7"
SENSOR_ID = "ETM+"
ACQUISITION_DATE = 1999-12-09
WRS_PATH = 025
WRS_ROW = 047
SCENE_CENTER_LAT = +18.7925759
SCENE_CENTER_LON = -97.6114410
SCENE_UL_CORNER_LAT = +19.7281944
SCENE_UL_CORNER_LON = -98.2862767
SCENE_UR_CORNER_LAT = +19.4754836
SCENE_UR_CORNER_LON = -96.5624292
SCENE_LL_CORNER_LAT = +18.1027093
SCENE_LL_CORNER_LON = -98.6530112
SCENE_LR_CORNER_LAT = +17.8554384
SCENE_LR_CORNER_LON = -96.9430230
SCENE_UL_CORNER_MAPX = 574788.000
SCENE_UL_CORNER_MAPY = 2181561.000
SCENE_UR_CORNER_MAPX = 755877.000
SCENE_UR_CORNER_MAPY = 2155255.500
SCENE_LL_CORNER_MAPX = 536712.000
SCENE_LL_CORNER_MAPY = 2001583.500
SCENE_LR_CORNER_MAPX = 717972.000
SCENE_LR_CORNER_MAPY = 1975392.000
BAND1_FILE_NAME =
"p025r047_7t19991209_z14_nn10.tif"
BAND2_FILE_NAME =
"p025r047_7t19991209_z14_nn20.tif"
BAND3_FILE_NAME =
"p025r047_7t19991209_z14_nn30.tif"
BAND4_FILE_NAME =
"p025r047_7t19991209_z14_nn40.tif"
BAND5_FILE_NAME =
"p025r047_7t19991209_z14_nn50.tif"
BAND61_FILE_NAME =
"p025r047_7k19991209_z14_nn61.tif"
BAND62_FILE_NAME =
"p025r047_7k19991209_z14_nn62.tif"

```

Path row 25 48

```

GROUP = METADATA_FILE
PRODUCT_CREATION_TIME = 2004-02-12T16:16:50Z
PRODUCT_FILE_SIZE = 657.7
STATION_ID = "EDC"
GROUND_STATION = "EDC"
GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
SPACECRAFT_ID = "Landsat7"
SENSOR_ID = "ETM+"
ACQUISITION_DATE = 1999-12-09
WRS_PATH = 025
WRS_ROW = 048
SCENE_CENTER_LAT = +17.3476219
SCENE_CENTER_LON = -97.9421770
SCENE_UL_CORNER_LAT =
+18.2826890
SCENE_UL_CORNER_LON = -
98.6127475
SCENE_UR_CORNER_LAT =
+18.0318832
SCENE_UR_CORNER_LON = -
96.9024979
SCENE_LL_CORNER_LAT =
+16.6567562
SCENE_LL_CORNER_LON = -
98.9748394
SCENE_LR_CORNER_LAT =
+16.4113803
SCENE_LR_CORNER_LON = -
97.2776884
SCENE_UL_CORNER_MAPX =
540930.000
SCENE_UL_CORNER_MAPY =
2021505.000
SCENE_UR_CORNER_MAPX =
722047.500
SCENE_UR_CORNER_MAPY =
1994971.500
SCENE_LL_CORNER_MAPX =
502683.000
SCENE_LL_CORNER_MAPY =
1841584.500
SCENE_LR_CORNER_MAPX =
683914.500

```

Path row 25 47

BAND7_FILE_NAME =
 "p025r047_7t19991209_z14_nn70.tif"
 BAND8_FILE_NAME =
 "p025r047_7p19991209_z14_nn80.tif"
 GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
 REFERENCE_DATUM =
 "WGS84"
 REFERENCE_ELLIPSOID =
 "WGS84"
 GRID_CELL_ORIGIN = "Center"
 UL_GRID_LINE_NUMBER = 1
 UL_GRID_SAMPLE_NUMBER =
 1
 GRID_INCREMENT_UNIT =
 "Meters"
 GRID_CELL_SIZE_PAN = 14.250
 GRID_CELL_SIZE_THM =
 57.000
 GRID_CELL_SIZE_REF = 28.500
 FALSE_NORTHING = 0
 ORIENTATION = "NUP"
 RESAMPLING_OPTION = "NN"
 MAP_PROJECTION = "UTM"
 END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
 GROUP = UTM_PARAMETERS
 ZONE_NUMBER = +14
 END_GROUP = UTM_PARAMETERS
 SUN_AZIMUTH = 149.5730382
 SUN_ELEVATION = 42.2406787
 QA_PERCENT_MISSING_DATA = 0
 CLOUD_COVER = 0
 PRODUCT_SAMPLES_PAN = 17370
 PRODUCT_LINES_PAN = 15174
 PRODUCT_SAMPLES_REF = 8685
 PRODUCT_LINES_REF = 7587
 PRODUCT_SAMPLES_THM = 4343
 PRODUCT_LINES_THM = 3794
 OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
 END_GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
 GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA
 BAND_COMBINATION = "123456678"
 CPF_FILE_NAME =
 "L7CPF19991209_19991231_12"
 GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
 LMAX_BAND1 = 191.600
 LMIN_BAND1 = -6.200
 LMAX_BAND2 = 196.500
 LMIN_BAND2 = -6.400
 LMAX_BAND3 = 152.900
 LMIN_BAND3 = -5.000
 LMAX_BAND4 = 157.400
 LMIN_BAND4 = -5.100
 LMAX_BAND5 = 31.060
 LMIN_BAND5 = -1.000
 LMAX_BAND61 = 17.040
 LMIN_BAND61 = 0.000
 LMAX_BAND62 = 12.650
 LMIN_BAND62 = 3.200
 LMAX_BAND7 = 10.800
 LMIN_BAND7 = -0.350
 LMAX_BAND8 = 243.100
 LMIN_BAND8 = -4.700
 END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
 GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
 QCALMAX_BAND1 = 255.0
 QCALMIN_BAND1 = 1.0
 QCALMAX_BAND2 = 255.0
 QCALMIN_BAND2 = 1.0
 QCALMAX_BAND3 = 255.0
 QCALMIN_BAND3 = 1.0
 QCALMAX_BAND4 = 255.0
 QCALMIN_BAND4 = 1.0
 QCALMAX_BAND5 = 255.0
 QCALMIN_BAND5 = 1.0
 QCALMAX_BAND61 = 255.0
 QCALMIN_BAND61 = 1.0
 QCALMAX_BAND62 = 255.0
 QCALMIN_BAND62 = 1.0

Path row 25 48

SCENE_LR_CORNER_MAPY =
 1815222.000
 BAND1_FILE_NAME =
 "p025r048_7t19991209_z14_nn10.tif"
 BAND2_FILE_NAME =
 "p025r048_7t19991209_z14_nn20.tif"
 BAND3_FILE_NAME =
 "p025r048_7t19991209_z14_nn30.tif"
 BAND4_FILE_NAME =
 "p025r048_7t19991209_z14_nn40.tif"
 BAND5_FILE_NAME =
 "p025r048_7t19991209_z14_nn50.tif"
 BAND61_FILE_NAME =
 "p025r048_7k19991209_z14_nn61.tif"
 BAND62_FILE_NAME =
 "p025r048_7k19991209_z14_nn62.tif"
 BAND7_FILE_NAME =
 "p025r048_7t19991209_z14_nn70.tif"
 BAND8_FILE_NAME =
 "p025r048_7p19991209_z14_nn80.tif"
 GROUP =
 PROJECTION_PARAMETERS
 REFERENCE_DATUM
 = "WGS84"
 REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"
 GRID_CELL_ORIGIN =
 "Center"
 UL_GRID_LINE_NUMBER = 1
 UL_GRID_SAMPLE_NUMBER = 1
 GRID_INCREMENT_UNIT = "Meters"
 GRID_CELL_SIZE_PAN
 = 14.250
 GRID_CELL_SIZE_THM
 = 57.000
 GRID_CELL_SIZE_REF
 = 28.500
 FALSE_NORTHING = 0
 ORIENTATION = "NUP"
 RESAMPLING_OPTION
 = "NN"
 MAP_PROJECTION =
 "UTM"
 END_GROUP =
 PROJECTION_PARAMETERS
 GROUP = UTM_PARAMETERS
 ZONE_NUMBER = +14
 END_GROUP = UTM_PARAMETERS
 SUN_AZIMUTH = 148.6432800
 SUN_ELEVATION = 43.3673119
 QA_PERCENT_MISSING_DATA = 0
 CLOUD_COVER = 0
 PRODUCT_SAMPLES_PAN = 17306
 PRODUCT_LINES_PAN = 15168
 PRODUCT_SAMPLES_REF = 8653
 PRODUCT_LINES_REF = 7584
 PRODUCT_SAMPLES_THM = 4327
 PRODUCT_LINES_THM = 3792
 OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
 END_GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
 GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA
 BAND_COMBINATION = "123456678"
 CPF_FILE_NAME =
 "L7CPF19991209_19991231_12"
 GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
 LMAX_BAND1 =
 191.600
 LMIN_BAND1 = -6.200
 LMAX_BAND2 =
 196.500
 LMIN_BAND2 = -6.400
 LMAX_BAND3 =
 152.900
 LMIN_BAND3 = -5.000
 LMAX_BAND4 =

Path row 25 47

QCALMAX_BAND7 = 255.0
 QCALMIN_BAND7 = 1.0
 QCALMAX_BAND8 = 255.0
 QCALMIN_BAND8 = 1.0
 END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
 GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND1 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND2 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND3 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND4 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND5 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND61 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND62 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND7 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND8 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_BIAS
 = "IC"
 BAND1_GAIN = "H"
 BAND2_GAIN = "H"
 BAND3_GAIN = "H"
 BAND4_GAIN = "H"
 BAND5_GAIN = "H"
 BAND6_GAIN1 = "L"
 BAND6_GAIN2 = "H"
 BAND7_GAIN = "H"
 BAND8_GAIN = "L"
 BAND1_GAIN_CHANGE = "0"
 BAND2_GAIN_CHANGE = "0"
 BAND3_GAIN_CHANGE = "0"
 BAND4_GAIN_CHANGE = "0"
 BAND5_GAIN_CHANGE = "0"
 BAND6_GAIN_CHANGE1 = "0"
 BAND6_GAIN_CHANGE2 = "0"
 BAND7_GAIN_CHANGE = "0"
 BAND8_GAIN_CHANGE = "0"
 BAND1_SL_GAIN_CHANGE =
 "0"
 BAND2_SL_GAIN_CHANGE =
 "0"
 BAND3_SL_GAIN_CHANGE =
 "0"
 BAND4_SL_GAIN_CHANGE =
 "0"
 BAND5_SL_GAIN_CHANGE =
 "0"
 BAND6_SL_GAIN_CHANGE1 =
 "0"
 BAND6_SL_GAIN_CHANGE2 =
 "0"
 BAND7_SL_GAIN_CHANGE =
 "0"
 BAND8_SL_GAIN_CHANGE =
 "0"
 END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
 GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
 STRIPING_BAND1 = "NONE"
 STRIPING_BAND2 = "NONE"
 STRIPING_BAND3 = "NONE"
 STRIPING_BAND4 = "NONE"
 STRIPING_BAND5 = "NONE"
 STRIPING_BAND61 = "NONE"
 STRIPING_BAND62 = "NONE"
 STRIPING_BAND7 = "NONE"
 STRIPING_BAND8 = "NONE"
 BANDING = "N"
 COHERENT_NOISE = "N"
 MEMORY_EFFECT = "N"
 SCAN_CORRELATED_SHIFT =
 "N"

Path row 25 48

157.400
 LMIN_BAND4 = -5.100
 LMAX_BAND5 = 31.060
 LMIN_BAND5 = -1.000
 LMAX_BAND61 =
 LMIN_BAND61 = 0.000
 LMAX_BAND62 =
 12.650
 LMIN_BAND62 = 3.200
 LMAX_BAND7 = 10.800
 LMIN_BAND7 = -0.350
 LMAX_BAND8 =
 243.100
 LMIN_BAND8 = -4.700
 END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
 GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
 QCALMAX_BAND1 =
 255.0
 QCALMIN_BAND1 = 1.0
 QCALMAX_BAND2 =
 255.0
 QCALMIN_BAND2 = 1.0
 QCALMAX_BAND3 =
 255.0
 QCALMIN_BAND3 = 1.0
 QCALMAX_BAND4 =
 255.0
 QCALMIN_BAND4 = 1.0
 QCALMAX_BAND5 =
 255.0
 QCALMIN_BAND5 = 1.0
 QCALMAX_BAND61 =
 255.0
 QCALMIN_BAND61 =
 1.0
 QCALMAX_BAND62 =
 255.0
 QCALMIN_BAND62 =
 1.0
 QCALMAX_BAND7 =
 255.0
 QCALMIN_BAND7 = 1.0
 QCALMAX_BAND8 =
 255.0
 QCALMIN_BAND8 = 1.0
 END_GROUP =
 MIN_MAX_PIXEL_VALUE
 GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND1 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND2 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND3 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND4 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND5 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND61 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND62 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND7 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND8 = "CPF"
 CORRECTION_METHOD_BIAS = "IC"
 BAND1_GAIN = "H"
 BAND2_GAIN = "H"
 BAND3_GAIN = "H"
 BAND4_GAIN = "H"
 BAND5_GAIN = "H"
 BAND6_GAIN1 = "L"
 BAND6_GAIN2 = "H"
 BAND7_GAIN = "H"

Path row 25 47

```
                                INOPERABLE_DETECTORS =  
"N"  
                                DROPPED_LINES = N  
                                END_GROUP = CORRECTIONS_APPLIED  
                                END_GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA  
END_GROUP = METADATA_FILE  
END
```

Path row 25 48

```
                                BAND8_GAIN = "L"  
  
                                BAND1_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND2_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND3_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND4_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND5_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND6_GAIN_CHANGE1 = "0"  
                                BAND6_GAIN_CHANGE2 = "0"  
                                BAND7_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND8_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND1_SL_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND2_SL_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND3_SL_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND4_SL_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND5_SL_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND6_SL_GAIN_CHANGE1 = "0"  
                                BAND6_SL_GAIN_CHANGE2 = "0"  
                                BAND7_SL_GAIN_CHANGE = "0"  
                                BAND8_SL_GAIN_CHANGE = "0"  
                                END_GROUP =  
PRODUCT_PARAMETERS  
                                GROUP = CORRECTIONS_APPLIED  
                                STRIPING_BAND1 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND2 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND3 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND4 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND5 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND61 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND62 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND7 =  
"NONE"  
                                STRIPING_BAND8 =  
"NONE"  
                                BANDING = "N"  
                                COHERENT_NOISE =  
"N"  
                                MEMORY_EFFECT =  
"N"  
  
                                SCAN_CORRELATED_SHIFT = "N"  
  
                                INOPERABLE_DETECTORS = "N"  
                                DROPPED_LINES = N  
                                END_GROUP =  
CORRECTIONS_APPLIED  
                                END_GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA  
END_GROUP = METADATA_FILE
```

END

■ Imágenes de 2006

Path row 25 47

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "9990804180001_47797"
PRODUCT_CREATION_TIME = 2008-04-20T10:08:10Z
STATION_ID = "EDC"
LANDSAT7_XBAND = "1"
GROUND_STATION = "ASN"
LPS_PROCESSOR_NUMBER = 1
DATEHOUR_CONTACT_PERIOD = "0532723"
SUBINTERVAL_NUMBER = "01"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
PRODUCT_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS DEM"
PROCESSING_SOFTWARE = "LPGS_8.2.1"
EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
SPACECRAFT_ID = "Landsat7"
SENSOR_ID = "ETM+"
SENSOR_MODE = "SAM"
ACQUISITION_DATE = 2005-11-23
GAP_FILL_ACQ_DATE = (2006-01-10)
GAP_FILL = 97.8
REGISTRATION_ACQ_DATE = 2000-09-06
WRS_PATH = 25
STARTING_ROW = 47
ENDING_ROW = 47
BAND_COMBINATION = "123456678"
PRODUCT_UL_CORNER_LAT = 19.7514214
PRODUCT_UL_CORNER_LON = -98.7098373
PRODUCT_UR_CORNER_LAT = 19.7328242
PRODUCT_UR_CORNER_LON = -96.4028819
PRODUCT_LL_CORNER_LAT = 17.8317999
PRODUCT_LL_CORNER_LON = -98.7131071
PRODUCT_LR_CORNER_LAT = 17.8151343
PRODUCT_LR_CORNER_LON = -96.4321099
PRODUCT_UL_CORNER_MAPX = 530400.000
PRODUCT_UL_CORNER_MAPY = 2184000.000
PRODUCT_UR_CORNER_MAPX = 772200.000
PRODUCT_UR_CORNER_MAPY = 2184000.000
PRODUCT_LL_CORNER_MAPX = 530400.000
PRODUCT_LL_CORNER_MAPY = 1971600.000
PRODUCT_LR_CORNER_MAPX = 772200.000
PRODUCT_LR_CORNER_MAPY = 1971600.000
PRODUCT_SAMPLES_PAN = 16121
PRODUCT_LINES_PAN = 14161
PRODUCT_SAMPLES_REF = 8061
PRODUCT_LINES_REF = 7081
PRODUCT_SAMPLES_THM = 4031
PRODUCT_LINES_THM = 3541
BAND1_FILE_NAME = "L71025047_04720051123_B10.TIF"
BAND2_FILE_NAME = "L71025047_04720051123_B20.TIF"
BAND3_FILE_NAME = "L71025047_04720051123_B30.TIF"
BAND4_FILE_NAME = "L71025047_04720051123_B40.TIF"
BAND5_FILE_NAME = "L71025047_04720051123_B50.TIF"
BAND61_FILE_NAME = "L71025047_04720051123_B61.TIF"
BAND62_FILE_NAME = "L72025047_04720051123_B62.TIF"
BAND7_FILE_NAME = "L72025047_04720051123_B70.TIF"
BAND8_FILE_NAME = "L72025047_04720051123_B80.TIF"
METADATA_L1_FILE_NAME = "L71025047_04720051123_MTL.TIF"
CPF_FILE_NAME = "L7CPF20051001_20051231_03"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
LMAX_BAND1 = 191.600
LMIN_BAND1 = -6.200
LMAX_BAND2 = 196.500
LMIN_BAND2 = -6.400
LMAX_BAND3 = 152.900
LMIN_BAND3 = -5.000
LMAX_BAND4 = 241.100
LMIN_BAND4 = -5.100
LMAX_BAND5 = 31.060
LMIN_BAND5 = -1.000
LMAX_BAND61 = 17.040
LMIN_BAND61 = 0.000

```

Path row 25 48

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "9990802010001_29920"
PRODUCT_CREATION_TIME = 2008-02-02T06:11:02Z
STATION_ID = "EDC"
LANDSAT7_XBAND = "1"
GROUND_STATION = "ASN"
LPS_PROCESSOR_NUMBER = 1
DATEHOUR_CONTACT_PERIOD = "0633101"
SUBINTERVAL_NUMBER = "02"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
PRODUCT_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS DEM"
PROCESSING_SOFTWARE = "LPGS_8.1.1"
EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
SPACECRAFT_ID = "Landsat7"
SENSOR_ID = "ETM+"
SENSOR_MODE = "SAM"
ACQUISITION_DATE = 2006-11-26
GAP_FILL_ACQ_DATE = (2006-12-12)
GAP_FILL = 99.6
REGISTRATION_ACQ_DATE = 1999-12-09
WRS_PATH = 25
STARTING_ROW = 48
ENDING_ROW = 48
BAND_COMBINATION = "123456678"
PRODUCT_UL_CORNER_LAT = 18.3038134
PRODUCT_UL_CORNER_LON = -99.0643453
PRODUCT_UR_CORNER_LAT = 18.2908213
PRODUCT_UR_CORNER_LON = -96.7712459
PRODUCT_LL_CORNER_LAT = 16.3893052
PRODUCT_LL_CORNER_LON = -99.0636812
PRODUCT_LR_CORNER_LAT = 16.3777508
PRODUCT_LR_CORNER_LON = -96.7942260
PRODUCT_UL_CORNER_MAPX = 493200.000
PRODUCT_UL_CORNER_MAPY = 2023800.000
PRODUCT_UR_CORNER_MAPX = 735600.000
PRODUCT_UR_CORNER_MAPY = 2023800.000
PRODUCT_LL_CORNER_MAPX = 493200.000
PRODUCT_LL_CORNER_MAPY = 1812000.000
PRODUCT_LR_CORNER_MAPX = 735600.000
PRODUCT_LR_CORNER_MAPY = 1812000.000
PRODUCT_SAMPLES_PAN = 16161
PRODUCT_LINES_PAN = 14121
PRODUCT_SAMPLES_REF = 8081
PRODUCT_LINES_REF = 7061
PRODUCT_SAMPLES_THM = 4041
PRODUCT_LINES_THM = 3531
BAND1_FILE_NAME = "L71025048_04820061126_B10.TIF"
BAND2_FILE_NAME = "L71025048_04820061126_B20.TIF"
BAND3_FILE_NAME = "L71025048_04820061126_B30.TIF"
BAND4_FILE_NAME = "L71025048_04820061126_B40.TIF"
BAND5_FILE_NAME = "L71025048_04820061126_B50.TIF"
BAND61_FILE_NAME = "L71025048_04820061126_B61.TIF"
BAND62_FILE_NAME = "L72025048_04820061126_B62.TIF"
BAND7_FILE_NAME = "L72025048_04820061126_B70.TIF"
BAND8_FILE_NAME = "L72025048_04820061126_B80.TIF"
METADATA_L1_FILE_NAME = "L71025048_04820061126_MTL.TIF"
CPF_FILE_NAME = "L7CPF20061001_20061231_03"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
LMAX_BAND1 = 191.600
LMIN_BAND1 = -6.200
LMAX_BAND2 = 196.500
LMIN_BAND2 = -6.400
LMAX_BAND3 = 152.900
LMIN_BAND3 = -5.000
LMAX_BAND4 = 241.100
LMIN_BAND4 = -5.100
LMAX_BAND5 = 31.060
LMIN_BAND5 = -1.000
LMAX_BAND61 = 17.040
LMIN_BAND61 = 0.000

```

Path row 25 47

```

LMAX_BAND62 = 12.650
LMIN_BAND62 = 3.200
LMAX_BAND7 = 10.800
LMIN_BAND7 = -0.350
LMAX_BAND8 = 243.100
LMIN_BAND8 = -4.700
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QCALMAX_BAND1 = 255.0
QCALMIN_BAND1 = 1.0
QCALMAX_BAND2 = 255.0
QCALMIN_BAND2 = 1.0
QCALMAX_BAND3 = 255.0
QCALMIN_BAND3 = 1.0
QCALMAX_BAND4 = 255.0
QCALMIN_BAND4 = 1.0
QCALMAX_BAND5 = 255.0
QCALMIN_BAND5 = 1.0
QCALMAX_BAND61 = 255.0
QCALMIN_BAND61 = 1.0
QCALMAX_BAND62 = 255.0
QCALMIN_BAND62 = 1.0
QCALMAX_BAND7 = 255.0
QCALMIN_BAND7 = 1.0
QCALMAX_BAND8 = 255.0
QCALMIN_BAND8 = 1.0
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND1 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND2 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND3 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND4 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND5 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND61 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND62 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND7 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND8 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_BIAS = "IC"
BAND1_GAIN = "H"
BAND2_GAIN = "H"
BAND3_GAIN = "H"
BAND4_GAIN = "L"
BAND5_GAIN = "H"
BAND6_GAIN1 = "L"
BAND6_GAIN2 = "H"
BAND7_GAIN = "H"
BAND8_GAIN = "L"
BAND1_GAIN_CHANGE = "0"
BAND2_GAIN_CHANGE = "0"
BAND3_GAIN_CHANGE = "0"
BAND4_GAIN_CHANGE = "0"
BAND5_GAIN_CHANGE = "0"
BAND6_GAIN_CHANGE1 = "0"
BAND6_GAIN_CHANGE2 = "0"
BAND7_GAIN_CHANGE = "0"
BAND8_GAIN_CHANGE = "0"
BAND1_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND2_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND3_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND4_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND5_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND6_SL_GAIN_CHANGE1 = 0
BAND6_SL_GAIN_CHANGE2 = 0
BAND7_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND8_SL_GAIN_CHANGE = 0
SUN_AZIMUTH = 148.4763837
SUN_ELEVATION = 44.4948831
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
STRIPING_BAND1 = "NONE"
STRIPING_BAND2 = "NONE"
STRIPING_BAND3 = "NONE"
STRIPING_BAND4 = "NONE"
STRIPING_BAND5 = "NONE"
STRIPING_BAND61 = "NONE"
STRIPING_BAND62 = "NONE"
STRIPING_BAND7 = "NONE"

```

Path row 25 48

```

LMAX_BAND62 = 12.650
LMIN_BAND62 = 3.200
LMAX_BAND7 = 10.800
LMIN_BAND7 = -0.350
LMAX_BAND8 = 243.100
LMIN_BAND8 = -4.700
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QCALMAX_BAND1 = 255.0
QCALMIN_BAND1 = 1.0
QCALMAX_BAND2 = 255.0
QCALMIN_BAND2 = 1.0
QCALMAX_BAND3 = 255.0
QCALMIN_BAND3 = 1.0
QCALMAX_BAND4 = 255.0
QCALMIN_BAND4 = 1.0
QCALMAX_BAND5 = 255.0
QCALMIN_BAND5 = 1.0
QCALMAX_BAND61 = 255.0
QCALMIN_BAND61 = 1.0
QCALMAX_BAND62 = 255.0
QCALMIN_BAND62 = 1.0
QCALMAX_BAND7 = 255.0
QCALMIN_BAND7 = 1.0
QCALMAX_BAND8 = 255.0
QCALMIN_BAND8 = 1.0
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND1 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND2 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND3 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND4 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND5 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND61 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND62 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND7 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND8 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_BIAS = "IC"
BAND1_GAIN = "H"
BAND2_GAIN = "H"
BAND3_GAIN = "H"
BAND4_GAIN = "L"
BAND5_GAIN = "H"
BAND6_GAIN1 = "L"
BAND6_GAIN2 = "H"
BAND7_GAIN = "H"
BAND8_GAIN = "L"
BAND1_GAIN_CHANGE = "0"
BAND2_GAIN_CHANGE = "0"
BAND3_GAIN_CHANGE = "0"
BAND4_GAIN_CHANGE = "0"
BAND5_GAIN_CHANGE = "0"
BAND6_GAIN_CHANGE1 = "0"
BAND6_GAIN_CHANGE2 = "0"
BAND7_GAIN_CHANGE = "0"
BAND8_GAIN_CHANGE = "0"
BAND1_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND2_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND3_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND4_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND5_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND6_SL_GAIN_CHANGE1 = 0
BAND6_SL_GAIN_CHANGE2 = 0
BAND7_SL_GAIN_CHANGE = 0
BAND8_SL_GAIN_CHANGE = 0
SUN_AZIMUTH = 147.7333807
SUN_ELEVATION = 45.0816544
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
STRIPING_BAND1 = "NONE"
STRIPING_BAND2 = "NONE"
STRIPING_BAND3 = "NONE"
STRIPING_BAND4 = "NONE"
STRIPING_BAND5 = "NONE"
STRIPING_BAND61 = "NONE"
STRIPING_BAND62 = "NONE"
STRIPING_BAND7 = "NONE"

```

Path row 25 47

```
STRIPING_BAND8 = "NONE"
BANDING = "N"
COHERENT_NOISE = "N"
MEMORY_EFFECT = "N"
SCAN_CORRELATED_SHIFT = "N"
INOPERABLE_DETECTORS = "N"
DROPPED_LINES = "N"
END_GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
REFERENCE_DATUM = "WGS84"
REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"
GRID_CELL_SIZE_PAN = 15.000
GRID_CELL_SIZE_THM = 60.000
GRID_CELL_SIZE_REF = 30.000
ORIENTATION = "NUP"
RESAMPLING_OPTION = "CC"
SCAN_GAP_INTERPOLATION = 2
MAP_PROJECTION = "UTM"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
GROUP = UTM_PARAMETERS
ZONE_NUMBER = 14
END_GROUP = UTM_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```

Path row 25 48

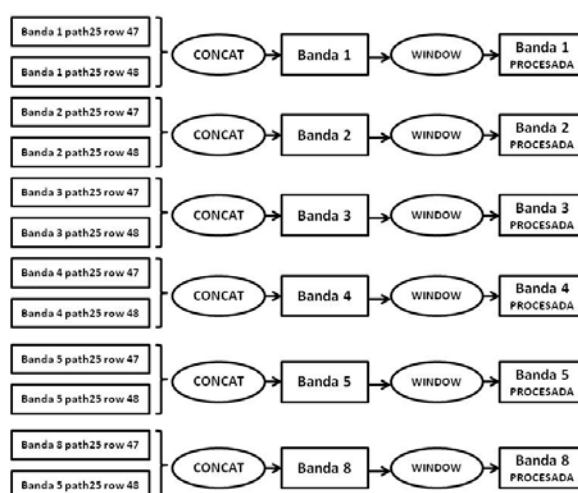
```
STRIPING_BAND8 = "NONE"
BANDING = "N"
COHERENT_NOISE = "N"
MEMORY_EFFECT = "N"
SCAN_CORRELATED_SHIFT = "N"
INOPERABLE_DETECTORS = "N"
DROPPED_LINES = "N"
END_GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
REFERENCE_DATUM = "WGS84"
REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"
GRID_CELL_SIZE_PAN = 15.000
GRID_CELL_SIZE_THM = 60.000
GRID_CELL_SIZE_REF = 30.000
ORIENTATION = "NUP"
RESAMPLING_OPTION = "CC"
SCAN_GAP_INTERPOLATION = 2
MAP_PROJECTION = "UTM"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
GROUP = UTM_PARAMETERS
ZONE_NUMBER = 14
END_GROUP = UTM_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```

ANEXO VI: Comando usados con el programa IDRISI Andes

El programa procesador de imágenes cobra en este proyecto de mucha importancia por ser una herramienta fundamental y claramente necesaria para conseguir los objetivos del proyecto. En este anexo se desarrolla cómo se realiza la metodología descrita en los apartados anteriores usando como programa el IDRISI edición Andes.

➤ Descripción de las imágenes de satélite utilizadas:

Es necesario unir todas las imágenes de satélite que cubran el distrito de Coixtlahuaca y reducirlas al área de estudio para no manejar grandes volúmenes de información y evitar largas esperas innecesarias delante del ordenador mientras se procesa.



Procesamiento previo de imágenes de satélite Landsat

Se usarán los comandos “concat” para unir las imágenes en cada banda captada por el sensor; y el comando “window” para reducir las dimensiones de la imagen resultante de la concatenación de ellas (de aplicar el comando “concat”). El comando window reduce hasta dejar un rectángulo el área de estudio, al suministrarle al ordenador las coordenadas x e y máximas y mínimas de éste.

➤ Delimitar áreas de control

Se definirán las áreas de control mediante “digitize”, comando que permite asignar a cada polígono delimitado una cifra que identifica a cada categoría. El conjunto de polígonos constituye un archivo vectorial (.vct) que servirá para crear posteriormente las firmas espectrales.

El módulo “composite” genera las composiciones RGB, imágenes compuestas de tres bandas y 24 bits para análisis visuales.

➤ Creación de firmas espectrales

“MakeSig” genera las firmas espectrales en un documento tipo “.sig” para cada año. Este modulo procesa las bandas elegidas en la metodología con las áreas de control delimitadas anteriormente, extrayendo la información estadística para cada uso.

➤ Clasificación

El clasificador duro de máxima probabilidad citado en la metodología tiene se denomina en IDRISI “MaxLike”. Para generar los mapas de usos de suelo y vegetación el clasificador utiliza las firmas espectrales para cada año.

➤ Verificación de resultados

El comando “Sample” genera un archivo vectorial con los puntos necesitados (.vct) que constituyen el muestreo buscado; en este caso sistemático.

Se convierte del formato vectorial al formato raster mediante el módulo “Rastervector” estableciendo el número de filas y columnas y la resolución.

El enfrentamiento de los pixeles del muestreo, con los del mapa de usos de suelo y vegetación del 2006 se realiza mediante “ErrMat”; proporcionando este comando la matriz comentada con los errores de omisión, comisión y aciertos.

➤ Análisis temporal y espacial

“Crosstab” genera tanto una matriz de cambios y permanencias de categorías en el periodo de tiempo considerado como un mapa en formato raster donde localiza los cambios y las permanencias de cada uso.

Calcular las superficies es necesario para estimar el porcentaje que ocupa una determinada clase en el distrito, o para observar como varía su superficie en el tiempo. Esta superficie se calcula al aplicar el módulo “calculata area”, en el menú que se despliega al presionar el botón derecho sobre la categoría deseada.

ANEXO VII: Muestreo sobre imagen Google Earth

En la tabla siguiente se muestra en cada párrafo de las cuatro columnas las coordenadas de cada uno de los puntos muestreados y la categoría a la que pertenece. “ID or value” indica la categoría a la que pertenece como se expone en la tabla siguiente:

ID or value	Categoría
1	Selva baja caducifolia
2	Bosque de Quercus
3	Agricultura Pastizal
4	Suelo desnudo
5	Chaparral
6	Matorral espinoso
7	Matorral xerófilo

Vector Layer Name : Copy of
MUESTREOCOIXB2
Vector Layer Type : Point
Reference System : utm-14n
Reference Units : m
Unit Distance : 1
ID/Value Type : Real
Number of Features : 177

Feature Number : 1
ID or Value : 2
Coordinates (X,Y) : 687961.500000
2007825.000000

Feature Number : 2
ID or Value : 4
Coordinates (X,Y) : 677502.000000
2006485.500000

Feature Number : 3
ID or Value : 2
Coordinates (X,Y) : 681606.000000
2006485.500000

Feature Number : 4
ID or Value : 2
Coordinates (X,Y) : 685710.000000
2006485.500000

Feature Number : 5
ID or Value : 2
Coordinates (X,Y) : 676162.500000
2003892.000000

Feature Number : 6
ID or Value : 2
Coordinates (X,Y) : 687961.500000
2003892.000000

Feature Number : 7
ID or Value : 4
Coordinates (X,Y) : 669322.500000
2002381.500000

Feature Number : 8
ID or Value : 4
Coordinates (X,Y) : 673398.000000
2002381.500000

Feature Number : 9
ID or Value : 2
Coordinates (X,Y) : 685710.000000
2002381.500000

Feature Number : 10
ID or Value : 2
Coordinates (X,Y) : 689814.000000
2002381.500000

Feature Number : 45
ID or Value : 6
Coordinates (X,Y) : 660459.000000
1988188.500000

Feature Number : 46
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 664392.000000
1988188.500000

Feature Number : 47
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 668325.000000
1988188.500000

Feature Number : 48
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 672258.000000
1988188.500000

Feature Number : 49
ID or Value : 1
Coordinates (X,Y) : 680095.500000
1988188.500000

Feature Number : 50
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 684028.500000
1988188.500000

Feature Number : 51
ID or Value : 5
Coordinates (X,Y) : 687961.500000
1988188.500000

Feature Number : 52
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 661114.500000
1985965.500000

Feature Number : 53
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 669322.500000
1985965.500000

Feature Number : 54
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 673398.000000
1985965.500000

Feature Number : 55
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 677502.000000
1985965.500000

Feature Number : 56
ID or Value : 5
Coordinates (X,Y) : 681606.000000

Feature Number : 86
ID or Value : 6
Coordinates (X,Y) : 652621.500000
1976418.000000

Feature Number : 87
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 656554.500000
1976418.000000

Feature Number : 88
ID or Value : 1
Coordinates (X,Y) : 660459.000000
1976418.000000

Feature Number : 89
ID or Value : 4
Coordinates (X,Y) : 664392.000000
1976418.000000

Feature Number : 90
ID or Value : 4
Coordinates (X,Y) : 668325.000000
1976418.000000

Feature Number : 91
ID or Value : 4
Coordinates (X,Y) : 676162.500000
1976418.000000

Feature Number : 92
ID or Value : 6
Coordinates (X,Y) : 680095.500000
1976418.000000

Feature Number : 93
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 684028.500000
1976418.000000

Feature Number : 94
ID or Value : 1
Coordinates (X,Y) : 687961.500000
1976418.000000

Feature Number : 95
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 657010.500000
1973653.500000

Feature Number : 96
ID or Value : 1
Coordinates (X,Y) : 661114.500000
1973653.500000

Feature Number : 97
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 665218.500000

Feature Number : 132
ID or Value : 4
Coordinates (X,Y) : 685710.000000
1965445.500000

Feature Number : 133
ID or Value : 1
Coordinates (X,Y) : 689814.000000
1965445.500000

Feature Number : 134
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 664392.000000
1964647.500000

Feature Number : 135
ID or Value : 6
Coordinates (X,Y) : 668325.000000
1964647.500000

Feature Number : 136
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 672258.000000
1964647.500000

Feature Number : 137
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 676162.500000
1964647.500000

Feature Number : 138
ID or Value : 6
Coordinates (X,Y) : 680095.500000
1964647.500000

Feature Number : 139
ID or Value : 6
Coordinates (X,Y) : 684028.500000
1964647.500000

Feature Number : 140
ID or Value : 1
Coordinates (X,Y) : 687961.500000
1964647.500000

Feature Number : 141
ID or Value : 1
Coordinates (X,Y) : 691866.000000
1964647.500000

Feature Number : 142
ID or Value : 5
Coordinates (X,Y) : 669322.500000
1961341.500000

Feature Number : 143
ID or Value : 3
Coordinates (X,Y) : 673398.000000

Feature Number : 11 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 668325.000000 1999987.500000	1985965.500000 Feature Number : 57 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 689814.000000 1985965.500000	1973653.500000 Feature Number : 98 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 669322.500000 1973653.500000	1961341.500000 Feature Number : 144 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1961341.500000
Feature Number : 12 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1999987.500000	Feature Number : 58 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 652621.500000 1984284.000000	Feature Number : 99 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1973653.500000	Feature Number : 145 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1961341.500000
Feature Number : 13 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1999987.500000	Feature Number : 59 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 656554.500000 1984284.000000	Feature Number : 100 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1973653.500000	Feature Number : 146 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1961341.500000
Feature Number : 14 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 684028.500000 1999987.500000	Feature Number : 60 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 660459.000000 1984284.000000	Feature Number : 101 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1973653.500000	Feature Number : 147 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 689814.000000 1961341.500000
Feature Number : 15 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1999987.500000	Feature Number : 61 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 664392.000000 1984284.000000	Feature Number : 102 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1973653.500000	Feature Number : 148 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 693918.000000 1961341.500000
Feature Number : 16 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1998277.500000	Feature Number : 62 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 668325.000000 1984284.000000	Feature Number : 103 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 689814.000000 1973653.500000	Feature Number : 149 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1960714.500000
Feature Number : 17 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1998277.500000	Feature Number : 63 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1984284.000000	Feature Number : 104 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 660459.000000 1972485.000000	Feature Number : 150 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1960714.500000
Feature Number : 18 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1998277.500000	Feature Number : 64 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1984284.000000	Feature Number : 105 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 664392.000000 1972485.000000	Feature Number : 151 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1960714.500000
Feature Number : 19 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 689814.000000 1998277.500000	Feature Number : 65 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1984284.000000	Feature Number : 106 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 668325.000000 1972485.000000	Feature Number : 152 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 684028.500000 1960714.500000
Feature Number : 20 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 664392.000000 1996054.500000	Feature Number : 66 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1984284.000000	Feature Number : 107 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1972485.000000	Feature Number : 153 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1960714.500000
Feature Number : 21 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 668325.000000 1996054.500000	Feature Number : 67 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 665218.500000 1981861.500000	Feature Number : 108 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1972485.000000	Feature Number : 154 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 691866.000000 1960714.500000
Feature Number : 22 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1996054.500000	Feature Number : 68 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 669322.500000 1981861.500000	Feature Number : 109 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1972485.000000	Feature Number : 155 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1957237.500000
Feature Number : 23 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1996054.500000	Feature Number : 69 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1981861.500000	Feature Number : 110 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 684028.500000 1972485.000000	Feature Number : 156 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1957237.500000
Feature Number : 24 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 665218.500000 1994173.500000	Feature Number : 70 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1981861.500000	Feature Number : 111 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1972485.000000	Feature Number : 157 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1957237.500000
Feature Number : 25 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 669322.500000 1994173.500000	Feature Number : 71 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1981861.500000	Feature Number : 112 ID or Value : 7 Coordinates (X,Y) : 661114.500000 1969549.500000	Feature Number : 158 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1957237.500000
Feature Number : 26 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1994173.500000	Feature Number : 72 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1981861.500000	Feature Number : 113 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 665218.500000 1969549.500000	Feature Number : 159 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 689814.000000 1957237.500000
Feature Number : 27 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1994173.500000	Feature Number : 73 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 652621.500000 1980351.000000	Feature Number : 114 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 669322.500000 1969549.500000	Feature Number : 160 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 693918.000000 1957237.500000
Feature Number : 28 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1994173.500000	Feature Number : 74 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 664392.000000 1980351.000000	Feature Number : 115 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1969549.500000	Feature Number : 161 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1956810.000000
Feature Number : 29 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1994173.500000	Feature Number : 75 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 668325.000000	Feature Number : 116 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 677502.000000	Feature Number : 162 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 676162.500000

Feature Number : 30 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 689814.000000 1994173.500000	1980351.000000 Feature Number : 76 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1980351.000000	1969549.500000 Feature Number : 117 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1969549.500000	1956810.000000 Feature Number : 163 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1956810.000000
Feature Number : 31 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 660459.000000 1992121.500000	Feature Number : 77 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1980351.000000	Feature Number : 118 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1969549.500000	Feature Number : 164 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 684028.500000 1956810.000000
Feature Number : 32 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 664392.000000 1992121.500000	Feature Number : 78 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1980351.000000	Feature Number : 119 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 660459.000000 1968580.500000	Feature Number : 165 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1956810.000000
Feature Number : 33 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 668325.000000 1992121.500000	Feature Number : 79 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 652906.500000 1977757.500000	Feature Number : 120 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 664392.000000 1968580.500000	Feature Number : 166 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 691866.000000 1956810.000000
Feature Number : 34 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1992121.500000	Feature Number : 80 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 657010.500000 1977757.500000	Feature Number : 121 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 668325.000000 1968580.500000	Feature Number : 167 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1953133.500000
Feature Number : 35 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1992121.500000	Feature Number : 81 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 665218.500000 1977757.500000	Feature Number : 122 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1968580.500000	Feature Number : 168 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1953133.500000
Feature Number : 36 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1992121.500000	Feature Number : 82 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 669322.500000 1977757.500000	Feature Number : 123 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1968580.500000	Feature Number : 169 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1953133.500000
Feature Number : 37 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1992121.500000	Feature Number : 83 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1977757.500000	Feature Number : 124 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1968580.500000	Feature Number : 170 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1953133.500000
Feature Number : 38 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 661114.500000 1990069.500000	Feature Number : 84 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1977757.500000	Feature Number : 125 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 684028.500000 1968580.500000	Feature Number : 171 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 672258.000000 1952877.000000
Feature Number : 39 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 665218.500000 1990069.500000	Feature Number : 85 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 685710.000000 1977757.500000	Feature Number : 126 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1968580.500000	Feature Number : 172 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 676162.500000 1952877.000000
Feature Number : 40 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 669322.500000 1990069.500000		Feature Number : 127 ID or Value : 6 Coordinates (X,Y) : 665218.500000 1965445.500000	Feature Number : 173 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1952877.000000
Feature Number : 41 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1990069.500000		Feature Number : 128 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 669322.500000 1965445.500000	Feature Number : 174 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 684028.500000 1952877.000000
Feature Number : 42 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1990069.500000		Feature Number : 129 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 673398.000000 1965445.500000	Feature Number : 175 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 687961.500000 1952877.000000
Feature Number : 43 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1990069.500000		Feature Number : 130 ID or Value : 4 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1965445.500000	Feature Number : 176 ID or Value : 5 Coordinates (X,Y) : 677502.000000 1949029.500000
Feature Number : 44 ID or Value : 2 Coordinates (X,Y) : 689814.000000 1990069.500000		Feature Number : 131 ID or Value : 3 Coordinates (X,Y) : 681606.000000 1965445.500000	Feature Number : 177 ID or Value : 1 Coordinates (X,Y) : 680095.500000 1948944.000000